Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Spektralanalytische Untersuchungen über die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze

von

P. **Hugo Greilach,**

Kapitular des Benediktinerstiftes St. Paul in Kärnten.

(Mit 3 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 3. März 1904.)

A. Einleitung und Historisches.

Eine der wichtigsten Fragen auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie, welche vom Beginne derselben als Wissenschaft bis auf den heutigen Tag nicht nur Botaniker, sondern auch hervorragende Physiker und Chemiker beschäftigte und welche trotz der eingehendsten theoretischen und experimentellen Untersuchungen noch immer als ungelöst betrachtet werden muß, bildet die sogenannte Chlorophyllfrage. Warum die überaus zahlreichen Resultate wissenschaftlicher Forschung auf dem genannten Gebiete noch zu keinem befriedigenden Abschluß gelangen konnten und auch in absehbarer Zeit nicht gelangen werden, hat darin seinen Grund, daß es sich hier wieder um eine Aufgabe handelt, komplizierte Lebensvorgänge durch exakte physikalische und chemische Methoden zu untersuchen und zu erklären, eine nach den heute zur Verfügung stehenden Mitteln äußerst schwierige, oft sehr undankbare Arbeit. So ist z. B. bekannt,[1] daß zwischen optischer Absorption

[1] Pfeffer, Stoffwechsel. 1897.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

und Assimilation ein bestimmtes Verhältnis, wenn auch durch noch so plausible theoretische Gründe gleichsam gefordert, sich nicht genau nachweisen läßt. Zu welch voreiligen Schlüssen ist gerade Lommel[1] auf diesem Gebiete gelangt.

Am wenigsten aber findet sich in der Literatur die Frage aufgeworfen, wie Chlorophyll entsteht, was die eigentliche Wirkung des Lichtes beim Aufsprießen des ergrünenden, angiospermen Keimlings sei, wie diese chemisch sowohl als auch physikalisch in der jungen Pflanze bei der Entstehung des Chlorophylls sich manifestiere.

Die Schwierigkeit in der Lösung speziell dieser Aufgabe tritt dem Experimentierenden sofort klar vor Augen: Man müßte das einzelne Chlorophyllkorn nicht nur chemisch, sondern auch mechanisch behandeln respektive zerlegen können, um vollständig über Entstehen und Vergehen des Farbstoffes Rechenschaft abzugeben im stande zu sein.

Wenn nun im folgenden über die Entstehung des Chlorophylls einige Daten erbracht werden sollen, so handelt es sich hiebei vor allem um zwei Punkte, erstens die Intensität des zu diesem Prozeß erforderlichen Lichtes zu bestimmen, zweitens das Quantum des neugebildeten Farbstoffes nach Tunlichkeit zu messen, d. h. einen Zusammenhang zwischen der Lichtintensität und den Schwingungsamplituden der Ionengruppen im Chlorophyllmolekül zu eruieren.

Der Erste, welcher (allerdings nur schätzungsweise) das Minimum der Lichtintensität bestimmte, bei der Chlorophyll noch gebildet werden kann, war Sachs, der in seinem »Lehrbuche der Botanik«[2] den Satz aufstellte, daß das Ergrünen monocotyler und dicotyler Pflanzen bei einer Helligkeit beginne, welche dem Auge das Lesen eines Buches eben zur Not noch gestattet.

Eingehende spektralanalytische Untersuchungen über diesen Punkt wurden jedoch erst von Wiesner[3] angestellt.

---

[1] Ann. der Chemie und Phys. 1871.

[2] Leipzig, 1873.

[3] »Die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze«. Eine physiologische Untersuchung. Wien, 1877.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bezüglich der Qualität des zur Chlorophyllbildung nötigen Lichtes fand Wiesner einerseits, daß sehr langwellige Strahlen des Spektrums (Ultrarot) kein Ergrünen hervorrufen, dieselben jedoch als »rayons continuateurs« im Bequerel'schen Sinne wirken können, andrerseits, daß sehr kurzwellige Strahlen an der Chlorophyllbildung Anteil nehmen, wenn letzerer auch kein bedeutender genannt werden kann. Auf die Intensität der Beleuchtung Bezug nehmend, fand der genannte Forscher, daß bei angiospermen Pflanzen die chlorophyllerzeugende Kraft des Lichtes bei einem und demselben Minimum der Intensität erlischt, die Geschwindigkeit der Chlorophyllbildung aber bei konstanten äußeren Bedingungen bei verschiedenen Pflanzen eine verschiedene sei, ein Umstand, der nicht in einer variablen Konstitution des fertig gebildeten grünen Farbstoffes selbst, sondern in der individuellen Wechselbeziehung zwischen Plasma und Farbstoff in den Geweben seinen Grund hat. (Bei den Versuchen Wiesner's wurden die auf die Pflanzen wirkenden Lichtintensitäten durch verschiedene lichtdurchlässige Schirme variiert, während die Helligkeit der Flamme stets dieselbe war: 6·5 Walratkerzen.) Die Entstehung des grünen Farbstoffes wurde hiebei stets durch das erste Auftreten des Absorptionsstreifens $\lambda = 680-640\ \mu\mu$ konstatiert. Die Frage über das Quantum des neugebildeten Farbstoffes wurde mit der über den genetischen Zusammenhang zwischen Chlorophyll und dem (Kraus'schen) Xanthophyll in Verbindung gebracht; auf welche Art und Weise soll später auseinandergesetzt werden.

Mit welcher Geschwindigkeit das Ergrünen bei intermittierender Beleuchtung vor sich geht, haben auf Wiesner's Anregung Mikosch und Stöhr gezeigt[1] und gefunden, daß eine geringere Gesamtdauer derselben zur Chlorophyllbildung erforderlich ist als bei kontinuierlicher Beleuchtung, was eine Bestätigung der von Wiesner[2] zuerst nachgewiesenen

[1] Untersuchungen über den Einfluß des Lichtes bei intermittierender Beleuchtung. Diese Sitzungsber., Jahrg. 1880

[2] Wiesner, l. c.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Erscheinung bildet, daß nämlich das Ergrünen als auf photochemische Induktion beruhend aufzufassen sei.[1]

Weitere wichtigere Arbeiten sind in dieser Hinsicht nur wenige zu erwähnen. Reinke[2] wies auf Grund ebenfalls spektroskopischer Untersuchungen nach, daß alle leuchtenden Strahlen des Sonnenspektrums zwischen den Linien *A* und *H* etiolierte Keimlinge zum Ergrünen bringen. Die Strahlen zwischen *B* und *D* erweisen sich als die wirksamsten, das Maximum ist zu beiden Seiten von *C* zu suchen. Die ultraroten und ultravioletten Strahlen vermögen kein Ergrünen hervorzurufen. Wichtig für das Folgende ist Reinke's Behauptung, daß die Kurve der Wirksamkeit der Strahlen beim Ergrünen mit der Absorptionskurve des Etiolin (letzteres im Pringsheim'schen Sinn aufzufassen) nicht zusammenfalle.

Eine weitere Abhandlung über diesen Gegenstand findet man bei Monteverde,[3] nach welchem das Protochlorophyll (nichts anderes als Pringsheim's Etiolin) seinem spektroskopischen Verhalten nach zum eigentlichen Chlorophyll merkwürdige Beziehungen aufweist, ein Umstand, der in den folgenden Auseinandersetzungen als grundlegend auch für quantitative Chlorophyllbestimmungen gelten soll (die diesbezügliche Schrift Monteverde's war dem Verfasser jedoch erst in die Hand gekommen, nachdem letzterer bereits über diesen Gegenstand zahlreichere und genauere Untersuchungen zu verzeichnen hatte).

In neuester Zeit stellt Kohl,[4] gestützt auf Palladin's[5] und eigene Versuche die bereits früher von Kraus[6] gemachte

---

[1] Monteverde (»Das Protochlorophyll und Chlorophyll«, vorläufige Mitteilungen, 1902) leugnet letzteres. Hierüber werde ich in einer eigenen Abhandlung berichten.

[2] Die Abhängigkeit des Ergrünens von der Wellenlänge des Lichtes. Sitzungsber. der kgl. preuß. Akad. der Wissensch. in Berlin, Jahrg. 1893.

[3] Über das Protochlorophyll. Acta horti Petropol. XIII, 1894.

[4] Untersuchungen über das Carotin und seine physiologische Bedeutung in der Pflanze. Leipzig 1902.

[5] Ergrünen und Wachstum etiolierter Blätter. Ber. der deutschen botan. Gesellsch., Bd. IX, 1891.

[6] C. Kraus, Über künstliche Chlorophyllerzeugung in lebenden Pflanzen bei Lichtabschluß. Aus botan. Jahresber. 1877.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Behauptung auf, daß gleichsam künstlich hervorgebrachtes Ergrünen im Dunkeln auch bei Angiospermen erzielt werden könne.[1] Systematisch ausgeführte Versuche speziell über diesen Gegenstand liegen indessen nicht vor.

Es liegt auf der Hand, daß es bei der Beantwortung der Frage über das Ergrünen vor allem anderen darauf ankommt über möglichst genaue quantitative Bestimmungen des neugebildeten Farbstoffes verfügen zu können.

Methoden zur quantitativen Chlorophyllbestimmung liegen, nach der Literatur zu schließen, verhältnismäßig sehr wenige vor und zwar sind dieselben in zwei Gruppen zu trennen: in eine spektralanalytische und eine chemisch-volumetrische. Übrigens läßt sich eine strenge Scheidung beider Untersuchungsarten nicht immer konstatieren.

Die ersten genaueren quantitativen Chlorophyllbestimmungen liegen von Wiesner (l. c.) vor, welcher in kalibrierten Röhren alkoholische Chlorophyllauszüge solange durch Titrieren mit gleichprozentigem Alkohol verdünnte, bis der Streifen I des (stationären) Chlorophylls verschwand. In ähnlicher Weise wurden von demselben auch quantitative Xanthophyllbestimmungen gemacht: stets gab die volumetrische Messung des zugefügten Alkohols Verhältniszahlen der vorhandenen Chlorophyll- respektive Xanthophyllmengen.

Timiriazeff[2] benützte zur Vergleichung verschiedener Blattgrünmengen eine Normalchlorophyllösung, welche im Dunkeln in einer zugeschmolzenen Glasröhre aufbewahrt wurde. Die quantitativen Messungen wurden ganz wie bei Wiesner durch Titrierung vorgenommen.

Tschirch's Methode zur quantitativen Chlorophyllbestimmung[3] besteht in der Darstellung des Zinksalzes der Phyllocyaninsäure, welches nach dessen Angabe 11·07 Zn enthält,

---

[1] Kf. hierüber auch Artari, Über die Bildung des Chlorophylls durch grüne Algen. Ber. der deutschen botan. Gesellsch., Bd. XX, 1902.

[2] Apparate für quantitative Analyse des Chlorophylls und zur Bestimmung des Gesetzes der Lichtabsorption durch dasselbe. Russ. aus Just's Jahresber. 1881.

[3] Methode zur quantitativen Bestimmung des Chlorophylls, sowohl in den Blättern als in Auszügen. Pharm. Zentralbl., 30.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wobei die Menge der Phyllocyaninsäure respektive des damit aufgenommenen Chlorophyllfarbstoffes rechnerisch gefunden werden kann.[1]

Neuerdings liegen von Kohl (l. c.) quantitative Bestimmungen von Pflanzenfarbstoffen (freilich in etwas spärlicher Anzahl) vor, die derselbe mit dem sogenannten Kolorimeter ausführte, von welchen jedoch Raumes halber keine weitere Notiz genommen werden kann.

Bei den angeführten Versuchen handelte es sich natürlich nicht um quantitative chemische Analysen quoad substantiam, deren bezüglich des Chlorophylls und dessen Derivaten ungemein zahlreiche anzuführen wären (kf. Literatur bei Marchlevsky: Chemie des Chlorophylls; Hamburg und Leipzig 1894; und Tschirch: Untersuchungen über das Chlorophyll; Berlin 1884), sondern lediglich um die meßbaren Mengen des bei einem bestimmten physiologischen Prozesse neugebildeten respektive zerstörten Blattgrüns. Bekanntlich geht die Bildung des letzteren bei angiospermen Pflanzen im allgemeinen nur im Lichte vor sich. Es ist dies eine der merkwürdigsten Wechselwirkungen zwischen Ätherschwingungen und chemischen Kräften, welche in den grünen oder ergrünenden Pflanzen die für die ganze Lebewelt so wichtige Kohlensäureassimilation und andere damit in Zusammenhang stehende Phänomene zur Folge haben.

Diese Energiewandlung in ihrem Werden einigermaßen zu verfolgen, soll der Zweck der vorliegenden Abhandlung sein.

B. Methode der Versuche im allgemeinen. Feststellung der Termini. Art der quantitativen Bestimmungen bei den Versuchen.

Bevor zur Schilderung der einzelnen Beobachtungen übergegangen wird, muß gleich zu Anfang bemerkt werden, daß genaue, absolute Messungen über neugebildetes respektive zerstörtes Chlorophyll niemals gemacht werden können, immer

[1] Kf. auch: Hansen, »Quantitative Bestimmung des Chlorophyllfarbstoffes in den Laubblättern. Würzburg 1887.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wird das Quantum der dabei in Betracht kommenden Pflanzenteile einerseits, die Wirkungsweise der Reagentien andrerseits wie bei jedem anderen chemischen Prozeß für jeden einzelnen Fall zu berücksichtigen sein. Es muß also darauf gesehen werden, stets passende vergleichbare Zustände herzustellen und auf diese Art störende Faktoren nach Tunlichkeit zu eliminieren. Die Methode, welche bei der quantitativen Bestimmung der Chlorophyllmengen im folgenden geschildert werden soll, war eine rein spektralanalytische.

Nach dem, was eingangs über das Verhältnis zwischen optischer Absorption und Assimilation gesagt wurde, möchte es scheinen, als würde ein solches Verfahren von vornherein den Tatsachen widersprechen und die ganze Arbeit sei gleichsam eine müssige. Allein um bei dieser so schwierigen Frage wenigstens einige physikalische Anhaltspunkte zum weiteren Forschen zu gewinnen (da ja andere Mittel noch weniger zum Ziele führen dürften), wurde dieser Ausweg als der zuverlässigste erachtet.

Den Hauptpunkt der vergleichenden Messungen bildete die Betrachtung der gegenseitigen Lage und Intensität der Chlorophyll- und Etiolinbänder in einem und demselben Dispersionsbereiche.

Unter »Etiolin« soll im folgenden jener Farbstoff verstanden werden, welcher (im Sinne Pringsheim's) in alkoholichen Lösungen[1] die Hauptabsorption im schwachbrechbaren Teile von $\lambda = 640—620\ \mu\mu$ eine Nebenabsorption von $\lambda = 589—570\ \mu\mu$ im Spektrum hervorbringt.[2] Wenn sich auch Kohl (l. c.) für die Abschaffung dieses Terminus sehr energisch ausspricht, so scheint doch diese Bezeichnung unter allen die geeignetste für den in Rede stehenden Farbstoff zu sein; denn die Übereinstimmung zahlreicher Autoren hierüber würde die Einführung eines neuen Terminus um so weniger rechtfertigen, als in der Literatur ohnehin schon eine sehr große Menge

[1] Am lebenden Blatte kann die genannte Absorption niemals wahrgenommen werden; der Grund wird später angeführt.

[2] In herbstlich gelbgefärbten Blättern sind die angeführten Absorptionen niemals konstatierbar (Autumnophyll ist ein Carotin).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

(vielleicht wirklich identischer) grüner und gelber Farbstoffe aufgezählt werden.[1]

Daß »Etiolin« kein Carotin ist, wird nicht bezweifelt; dies zeigt ja auch vollauf dessen spektroskopisches Verhalten. Etiolin ist vielmehr gleichbedeutend mit Monteverde's Protochlorophyll, das nach dessen Angaben und des Verfassers eigenen Experimenten überhaupt kein gelber, sondern grüner Farbstoff ist, der jedoch für das menschliche Auge seiner äußerst geringen Quantität wegen äußerlich am »etiolierten« Blatte niemals sichtbar wird. Dieses Etiolin besitzt eine deutliche Fluoreszenz, welche von der Absorption von $\lambda = 640$ bis 620 μ abhängt (Fluoreszenz I. Art nach Lommel) und dispergiert anomal wie Chlorophyll. Ferner wird dasselbe im Dunkeln gebildet, jedoch auch wieder im Dunkeln zerstört, wie zahlreiche Versuche mit etiolierten Gerstenkeimlingen lehrten.

Es ist nun eine Tatsache, daß bei Beleuchtung etiolierter Pflanzenteile die Absorptionsstreifen des Etiolins und des neugebildeten Chlorophylls sich nebeneinander in einem und demselben Dispersionsbereiche der alkoholischen Lösung zeigen, und zwar in gradueller Verschiedenheit ihrer Intensitäten, je nachdem die Pflanzen früher schwächer oder stärker beleuchtet wurden. Je intensiver die Lichtquelle wirkte, um so schwächer erscheint der Etiolin-, um so schärfer und dunkler der definitive Chlorophyllstreifen I.

Hieraus läßt sich der Schluß ziehen, daß aus dem meßbaren Verhältnisse der Absorptionsintensitäten der Bänder I des Chlorophylls ($\lambda = 680—640—x$) und des Etiolins[2] ($\lambda = 640—620—x$) die Menge des neugebildeten Chlorophylls im allgemeinen unabhängig von der Quantität belichteter Pflanzenteile bestimmt werden kann. (Da dieser Prozeß in unserem Falle sich nur im Lichte vollzieht und makroskopisch durch das allmähliche Grünwerden des Keimlings sich manifestiert, so liegt es wohl sehr nahe, von einer wirklichen Entstehung des Chlorophylls [Ionengruppe γ] zu sprechen. Allein

[1] Kf. Tschirch, l. c., ferner Tammes, Flora, 1900, Heft 87: Über die Verbreitung des Carotins im Pflanzenreiche. Auch Kohl, l. c.

[2] Kf. hierüber die Anmerkung zu Punkt 4 in den Resultaten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

wie reserviert man gerade mit dem Terminus »Chlorophyll« umgehen muß, zeigt das genauere Studium der Literatur über diesen Punkt.) Die Proportionalität des Verbleichens der Etiolinabsorption und des Intensiverwerdens des Chlorophyllbandes I läßt einerseits die Wirkungsart der Aktivität des Lichtes erkennen, andrerseits aber auch auf die genannte »Entstehung« des Chlorophylls aus dem Etiolin einige Schlüsse ziehen. Ferner kann man leicht daraus ersehen, daß das Etiolin zwar ein dem Chlorophyll sehr nahestehender, aber keineswegs mit demselben identischer Farbstoff ist.[1]

Inwieferne Carotin bei dem geschilderten Prozesse beteiligt ist, kann wohl nur schwer ermittelt werden (kf. den Schluß dieser Abhandlung). Die Reindarstellung des Etiolins in Kristallform ist so wie die des Chlorophylls und Carotins versucht worden; ein näheres Eingehen auf diesen Punkt erscheint jedoch für das Folgende belanglos. Bemerkt muß aber werden, daß das Etiolin Marchlewski's, Bode's, Tschirch's und Pringsheim's bereits den mit eigentlichem Chlorophyll vermischten Farbstoff darstellte, da man entschieden nicht mit der richtigen Vorsicht zu Werke ging (vielleicht nahm man bereits chlorophyllführende Samen oder es traf die Pflanzen schwaches, diffuses Tageslicht während des Experimentierens). So erklären sich z. B. die Angaben Tschirch's (l. c.) über die Absorption des Etiolins

Band I..... $\lambda =$ 670—640 $\mu\mu$;
» II*a*.... 630—620 »
» II*b*.... 608—595 »

Band I gehört vollständig dem neugebildeten Chlorophyll und Band II dem Etiolin an.(Wenn es einzelne angiosperme Pflanzen gibt, welche auch in vollständiger Dunkelheit gezogen, den Streifen I des Chlorophylls im Spektrum zeigen, so ändert dies an der Sache nichts, bekräftigt vielmehr auch hierin die verwandschaftlichen Beziehungen zwischen Gymnospermen und Angiospermen).

[1] Die Etiolinlinie I geht so wie die des Chlorophylls in das Benzol über. Es hindert übrigens nichts, mit Kohl (l. c.) Etiolin als Chlorophyll im latenten Zustand aufzufassen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

C. Versuchsmethode im besonderen.

α. Auswahl der Pflanzen und deren Aufstellung bei den Versuchen.

Wie bereits erwähnt, galt es bei den Versuchen, möglichst vergleichbare Zustände herbeizuführen. Die Anzahl der Pflanzen, mit denen experimentiert wurde, war anfangs eine ziemlich große, allein es stellte sich heraus, daß neben anderen Unzukömmlichkeiten, namentlich bei den in der Jugend anthokyanführenden Keimlingen, der gelbe und grüne Farbstoff in dickeren Lösungsschichten durch den roten respektive violetten vollständig verdeckt ward, was die Untersuchungen erheblich erschwerte. Andrerseits lehrte die Vergleichung der Spektra leichter zu untersuchender Pflanzen, daß erhebliche Unterschiede in den Dispersionsbereichen nicht konstatierbar waren. So wurde zuletzt nur mehr mit vier Spezies experimentiert, und zwar von möglichst verschiedenen Angiospermengruppen: *Hordeum sativum, Lepidium sativum, Cucurbita pepo* und *Phaseolus multiflorus.*

Der Umstand, daß bei den Gramineen die einzelnen Teile des Blattes nicht gleichalterig sind, konnte bei den Versuchen füglich unberücksichtigt bleiben, da stets nur gleichalterige Triebe geerntet wurden. Bei *Lepidium* wurden lediglich die kleinen Blätter, bei *Cucurbita* die dem Lichte zugewendeten Cotylen gleicher Höhe und gleichen Alters nach Ablösung der Samenschale präzise zu Beginn des Versuches verwendet. Die Samen wurden unter Doppelsturz sämtlich bei gleicher Temperatur gezogen. Auch geschah die Prüfung derselben auf etwa vorhandenes Chlorophyll nach Tunlichkeit. Nur ein einzigesmal wurden Spuren des Chlorophyllbandes I im alkoholischen Extrakt von *Lepidium*-Samen entdeckt. Die ganze Lieferung wurde natürlich als unbrauchbar entfernt.

Die Experimente wurden sämtlich im Dunkelzimmer des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Universität in Wien vorgenommen; die Länge des Zimmers beträgt zirka 9 *m*, die Breite zirka 4 *m*, die Höhe zirka 5 *m*. Die Wände und der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Experimentiertisch sind mattgeschwärzt; alle lichtreflektierenden Gegenstände wurden entfernt, unentbehrliche Utensilien, wie Assimilationswage und Reagenzkästchen mit mattschwarzen Tüchern verhängt. Da auch der dunkelste Gegenstand in Wirklichkeit noch Licht reflektiert, so konnte auf eine absolut genaue Bestimmbarkeit der Lichtintensitäten nicht gerechnet werden; allein bei relativen Messungen konnte dieser Fehler bei sonst gleichen Umständen außeracht gelassen werden.

Die zu untersuchenden Keimlinge waren teils in Töpfen, teils in Keimschalen in später zu besprechenden Entfernungen von der Lichtquelle aufgestellt und zwar abwechselnd in Kreisbogenform, wenn mehrere Töpfe einer und derselben Spezies benötigt wurden, welches Verfahren darum notwendig erschien, damit die Keimlinge sich nicht gegenseitig in Schatten standen. Die relative Feuchtigkeit im Experimentierraum blieb immer dieselbe (zirka 45%). Gegossen wurden die Keimlinge stets mit gewöhnlichem Wasser von derselben Temperatur und pro Topf im selben Quantum (einmal täglich zur selben Stunde). Daß beim Betreten und Verlassen des Experimentierraumes kein störendes Licht die Keimlinge traf, wurde durch einen dichten Vorhang sowie einen mattgeschwärzten Verschlag vor der Zimmertüre bewerkstelligt. Die Wasserleitung ist im Zimmer selbst angebracht.

Den bei den Experimenten anscheinend wundesten Punkt bildete wohl das Quantum des bei den einzelnen Beleuchtungsphasen zur Vergleichung verwendeten Pflanzenmaterials. Es wurde indessen oben bemerkt, daß unabhängig vom letzteren die Verhältniszahlen der Intensitäten von Streifen I des Etiolins und Chlorophylls als das Maßgebende bei sämtlichen Beobachtungen erscheint. Allein trotzdem wurden auch hierin wieder möglichst vergleichbare Zustände geschaffen. Zu jeder Probe wurden je 4 *g* Blattsubstanz (sit venia verbo!) verwendet, und zwar, um die genannten vier Spezies noch besser vergleichen zu können, von jeder Spezies dieselbe Menge. Es wurden übrigens nur solche Keimlinge für die spektralanalytische Untersuchung verarbeitet, welche vollständig im

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Lichte und in einem und demselben Bogen standen, ferner die nämliche Wachstumsgröße besaßen.

β. Die Beleuchtung der Keimlinge.

Das Wichtigste und zugleich Schwierigste bei der Einleitung der Versuche bildete die Wahl einer passenden Beleuchtungsintensität der Pflanzenteile.

Das Natürlichste bezüglich der Qualität des Lichtes wäre wohl gewöhnliches Sonnen- respektive diffuses Tageslicht gewesen, allein jedermann sind die Schwierigkeiten bekannt, welche hiebei einer exakten Methode entgegenstehen. Man weiß jedoch, daß Gaslicht, elektrisches Bogenlicht, ja selbst polarisiertes Licht sehr starke Kohlensäurezersetzung und Ergrünen hervorrufen.[1] Allerdings wird bei Benützung künstlicher Lichtquellen[2] die Assimilationskurve mehr oder minder bedeutend modifiziert werden, da z. B. im Gaslicht die kurzwelligen Strahlen sehr geschwächt sind. Letztere kommen jedoch bei den Versuchen weniger in Betracht, wie später auseinandergesetzt werden soll. »Die Assimilation«, sagt Reinke,[3] sich an Lommel anschließend, »stellt sich durch den übereinstimmenden Verlauf der Kurven dar als eine Funktion der Absorption in derjenigen Atomgruppe, welche im Chlorophyll, wie auch in allen näheren Zersetzungsprodukten desselben, die Strahlen zwischen *B* und *C* lebhaft absorbiert.« Wenn auch diese Bemerkung mit großer Reserve aufgenommen werden muß (siehe den Schluß), so steht es doch fest, daß die genannten Strahlen bei Gaslicht fast geradeso wirken, wie beim Sonnenlichte. Übrigens kommt es ja im folgenden (und

---

[1] Es wurden übrigens auch derartige Versuche angestellt. Darüber in einer späteren Abhandlung.

[2] Daß die Bewegung der Erde nie einen Einfluß erster Ordnung auf Versuche mit terrestrischen Lichtquellen ausübt, wurde streng von Lorentz gezeigt (Lorentz: Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leiden, 1895).

[3] Die optischen Eigenschaften der grünen Gewebe in ihrer Beziehung zur Assimilation.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

das sei hier besonders noch hervorgehoben) überhaupt nur auf die Beschreibung rein optischer respektive photochemischer Effekte an, welche bei der Insolation in der Pflanze vor sich gehen.

Bei relativen Untersuchungen, wie in unserem Falle, ist vielmehr das Hauptaugenmerk auf die Beschaffung einer konstanten Lichtquelle zu richten, welche bei sonst gleichen Umständen die Meßbarkeit des optischen Effektes ermöglicht. Als solche wurde stets die Flamme eines Mikrobrenners verwendet, ohne jedwede Hülse oder Glaszylinder. Der Brenner stand mit einem gut funktionierenden Gasregulator in Verbindung. Die richtige Wahl der Beleuchtungsstärke bot anfangs ebenfalls einige Schwierigkeiten, einerseits wegen baldigen Verschwindens des Etiolinstreifens bei stärkerer Flamme, andrerseits wegen möglichster Verhütung des Einflusses strahlender und leitender Wärme, welche namentlich die dem Lichte näher gelegenen Pflanzen treffen mußte. So wurden denn zuletzt mit Hilfe des Bunsen'schen Photometers folgende Intensitäten für die Versuche hergestellt: $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_6$, $^1/_8$ einer Normalkerze.

Die Pflanzen wurden in je 1 *m* Entfernung voneinander in der oben genannten Kreisbogenform aufgestellt, und zwar stand die am wenigsten belichtete Pflanze 6 *m* von der Lichtquelle ab. Während der Expositionszeit (stets genau 144 Stunden bei jeder Versuchsreihe) brannte die Flamme vollständig gleichmäßig, wie aus photometrischen Kontrollbeobachtungen nach den Versuchen hervorging. Die Belichtung der jungen Pflanzen geschah nach Maßgabe der Keimfähigkeit der Samen, welch letztere natürlich zugleich ausgesät wurden.

Bei einer und derselben Spezies wurden die bereits früher postierten Doppelstürze in demselben Momente gehoben: Bei *Lepidium* nach zirka $^1/_2$tägigem Hervorsprießen aus der Erde, bei der Gerste stets in $1^1/_2$ *cm* Höhe, bei *Phaseolus* nach dem Hervorbrechen der ersten Blätter und bei *Cucurbita* beim Erscheinen der ersten Samenschalen. Auch in dieser Hinsicht lehrten zahlreiche Vorversuche, daß es auf 2 bis 3 Stunden längeren Verweilens im Dunkeln nicht ankommt, wenn eine Belichtungsfrist von 144 Stunden (auch geringerer Intensität) nachfolgt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

γ. Temperaturverhältnisse.

Die Temperatur schwankte bei sämtlichen Versuchen höchstens zwischen 17·5° und 18° C., bei welcher auch *Lepidium* noch ganz gut fortkommen kann.[1]

Durch sehr eingehende Vorversuche wurde ermittelt, daß das Schwanken des Wärmegrades innerhalb noch weiterer als den genannten Grenzen auf das Ergrünen der vier Spezies keinen Einfluß ausübt.

δ. Verarbeitung des Pflanzenmaterials nach den Versuchen.

Nach 144 Stunden Expositionszeit wurden die Pflanzen in 96% Alkohol gewaschen, zerschnitten, dann abgetrocknet und zuletzt solange in 14 cm^3 von 96% Alkohol zerquetscht, bis ein gleichmäßiger Brei in der Reibschale vorhanden war. Die breiige Masse wurde in gleichartige Glasgefäße gegossen und wohlverschlossen durch 24 Stunden unter Doppelsturz verwahrt, sodann gut durchgefiltert, bis eine vollständig klare, für die spektroskopische Untersuchung geeignete Lösung erhalten wurde. Die Wage (zur Abwägung der 4 g Blattsubstanz) befand sich, wie erwähnt, auf dem Experimentiertisch, durch mattschwarze Tücher verhängt und war dieselbe ebenfalls, sowie die Gewichte, mattgeschwärzt. Das Auge des Experimentierenden wurde stets durch längeres Verweilen in der Dunkelkammer derart an die Dunkelheit gewöhnt, daß der Ausschlag an der Wage vollständig genau beobachtet werden konnte, denn von der Lichtquelle drang nur ein ganz matter Schein durch die Vorhänge.

ε. Spektrophotometrische Untersuchungen.

Zu vergleichenden Messungen der Hauptabsorptionen I des Chlorophylls und Etiolins wurde das Glan'sche Spektrophotometer[2] verwendet, dessen nähere Beschreibung füglich unter-

[1] Kf. hierüber: Detmer, Vergleichende Physiologie des Keimungsprozesses der Samen. Jena, 1880

[2] Es mag wohl wundernehmen, daß zu den Untersuchungen dieser Apparat benützt wurde, denn die Konzentrationsstufen der Lösungen sind

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bleiben kann. Es sei lediglich auf die diesbezügliche Literatur verwiesen.[1]

Als Absorptionskoeffizient gilt in den Tafeln $-\log \tan^2\varphi$ des am Nicol abgelesenen Winkels, welcher Ausdruck durch Kombination der Malus'schen Formel mit der Integration und Konstantenbestimmung der Gleichung

$$-dJ = kJdk'$$

entsteht, wobei J die Intensität des auf die Lösungsschichte auffallenden Lichtes, k eine von der Farbe und dem absorbierenden Medium abhängige Konstante und k' die Schichtendicke der Lösung bezeichnet. Die Schichtendicke betrug bei sämtlichen Messungen 270 *mm*. Das Absorptionsmaximum I des Etiolins kann nämlich nur bei sehr starker Konzentration oder bei bedeutender Länge der durchstrahlten Lösung deutlich wahrgenommen werden. Bei den in Rede stehenden Untersuchungen wurden beide Faktoren berücksichtigt. Übrigens war die Glasküvette nur 1·5 *mm* breit, so daß die aus 14 cm^3 gewonnene und gut filtrierte Lösung meist zu zweimaliger Untersuchung hinreichte. Die Intensität des bei den spektrophotometrischen Untersuchungen verwendeten Lichtes betrug zirka 10 Normalkerzen. Daß auch diese Experimente mit ziemlich großen Schwierigkeiten verbunden waren, erhellt daraus, daß während einmaligen Durchmessens des Dispersionsbereiches durch das intensive Gaslicht kleine Mengen von Chlorophyll (respektive Chlorophyllan) zerstört wurden, also eine zweimalige Prüfung einer und derselben Lösung unstatthaft erschien. Es mußte also stets eine zweite

---

niemals derart erreichbar, daß die Gesamtintensität des Dispersionsbereiches dieselbe ist; in der Tat erschienen auch die ersten Experimente sehr trostlos, allein der Umstand, daß die relativen Intensitäten der Absorptionsbänder auch bei zu gleicher Zeit angestellten Kontrollversuchen dieselben blieben, zeigte den Weg zu weiterem Verfahren: die oben angeführten Daten so genau wie möglich einzuhalten, d. h. stets unter nämlichen Bedingungen zu experimentieren. Hat ja der genannte Apparat in der Pflanzenphysiologie bisher die besten Dienste geleistet, wie Reinke's und Schütt's Arbeiten zur Genüge dartun.

[1] Kf. Wüllner, Strahlung, I.; Liebisch, Kristallographie, etc. etc.).

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

frische Lösung der Untersuchung unterzogen werden. Allein auch diese Messung konnte zu einer völlig befriedigenden Bestimmung der Absorptionsmaxima nicht führen, da vielleicht bei den vorhergegangenen Manipulationen Fehler unterlaufen konnten.

Daher wurde jeder Versuch drei- bis siebenmal wiederholt, im Frühjahr und im Herbste, wenn die Temperatur der Dunkelkammer (18° C.) das Experimentieren gestattete. Auffallen wird ferner der Umstand, daß zur Prüfung auf neuentstandenes Chlorophyll Alkohol als Lösungsmittel verwendet wurde, also entschieden ein Zersetzungsprodukt des Chlorophylls vorlag. Dies geschah deshalb, weil einerseits die beabsichtigten Beobachtungen an lebenden Pflanzen unausführbar sind, denn der Etiolinstreifen konnte noch niemals im Spektrum lebender Pflanzen, des geringen Quantums dieses Farbstoffes wegen, gesehen werden; zweitens weil sogenanntes »Reinchlorophyll« neben Etiolin darzustellen ein Ding der Unmöglichkeit gewesen wäre.

Bei den in Rede stehenden Untersuchungen konnten folgende Punkte nicht berücksichtigt werden:

1. Lageänderung der Organe, wie heliotropische Krümmungen, welche als spezifische Wachstumserscheinungen niemals eliminiert werden konnten. Diesbezüglich war in der Tat, wie auch aus Wiesner's zahlreichen Untersuchungen über diesen Punkt klar hervorgeht, eine Gleichheit der Krümmungen gegen das Licht auf den verschiedenen Standplätzen niemals erreichbar, es hätte denn, um jedweden heliotropischen Effekt zu vermeiden, monochromatisches gelbes Licht in Anwendung kommen müssen. Letzteres hätte jedoch nicht annähernd den Vorgängen in der Natur entsprechende Resultate hervorgerufen.

2. Die Schnelligkeit des Wachstums verschiedener Keimlinge, welche ebenfalls nie genau kontrolliert werden konnte, so daß am Ende eines Versuches einzelne derselben gleich hoch erschienen, obschon dieselben in Bezug auf die Dauer

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

des Lichtgenusses wegen des späteren Hervorkeimens vielleicht um mehrere Stunden differieren konnten.

Bedeutende Unterschiede ergaben sich jedoch in dieser Hinsicht niemals.

D. Tabellen- und Tafelerklärung.

In den folgenden Tabellen sind links vom einfachen Striche die Wellenlängen der Absorptionsskala, rechts von demselben die für die einzelnen Intervalle geltenden Exstinktionskoeffizienten ($-\log_{Brigg} \tan^2 \varphi$) angegeben.

In jeder der beigelegten Kurventafeln sind auf den Abszissenachsen die Wellenlängen verzeichnet, die Ordinaten bilden die Exstinktionskoeffizienten von 0 bis 3·516, also für Ablesungswinkel von 0 bis 45°. Die jedesmalige Multiplikation der genannten Koeffizienten mit 100 gewährt in den Tafeln eine leichtere Übersicht der zu vergleichenden Kurven. Die nachstehenden Tabellen (und Kurven) sind selbstverständlich nicht als das arithmetische Mittel der einzelnen Versuche anzusehen, sondern bilden vielmehr das Resultat der bestgelungenen Versuchsreihen.[1]

Die Versuche bei $^1/_6$-Normalkerze sind nicht angeführt, da dieselben zu wenig durch Kontrollversuche erhärtet erscheinen.

Zu bemerken erübrigt noch, daß eigentliche Unstetigkeitspunkte in den Kurven sich niemals vorfinden können,[2] dieselben sind in den beiliegenden Tafeln nur durch streng abgegrenzte Intensitätsmessungen bestimmter Dispersionsbezirke veranlaßt.

[1] Es ist dies in unserem Fall auch der Methode der Fehlerberechnung selbstverständlich weit vorzuziehen.

[2] Kf. Drude, Lehrbuch der Optik u. a.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Gerste bei $^1/_8$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle								
1 *m*			2 *m*			3 *m*		
704 —697 μμ	0·18		704 —697 μμ	0·15		704 —697 μμ	0·18	
697 —690	0·37		697 —690	0·25		697 —690	0·09	
690 —684	0·7		690 —684	0·41		690 —684	0·21	
684 —678	0·88		684 —678	0·51		684 —678	0·26	
678 —673	1·21		678 —673	0·55		678 —673	0·31	
673 —667	1·24		673 —667	0·57		673 —667	0·34	
667 —663	1·03		667 —663	0·55		667 —663	0·31	
663 —658	0·79		663 —658	0·53		663 —658	0·33	
658 —653	0·44		658 —653	0·44		658 —653	0·34	
653 —648	0·43		653 —648	0·48		653 —648	0·37	
648 —643	0·49		648 —643	0·66		648 —643	0·48	
643 —639	0·57		643 —639	0·7		643 —639	0·51	
639 —633	0·59		639 —633	0·72		639 —633	0·64	
633 —630	0·51		633 —630	0·68		633 —630	0·7	
630 —627	0·48		630 —627	0·62		630 —627	0·66	
627 —622·5	0·53		627 —622·5	0·6		627 —622·5	0·64	
622·5—613	0·59		622·5—617·5	0·59		622·5—617·5	0·62	
613 —610	0·57		617·5—615	0·66		617·5—613	0·64	
610 —602	0·58		615 —610	0·7		613 —610	0·66	
602 —598	0·55		610 —606	0·74		610 —598	0·68	
598 —595	0·6		606 —602	0·83		598 —595	0·7	
595 —589	0·62		602 —595	0·85		595 —591·5	0·74	
589 —585·5	0·64		595 —591·5	0·88		591·5—589	0·77	
585·5—583	0·66		591·5—589	0·92		589 —583	0·79	
583 —580	0·7		589 —583	0·95		583 —580	0·9	
580 —577·5	0·74		583 —580	0·98		580 —574·5	0·95	
577·5—572	0·83		580 —577·5	1·03		574·5—572	0·95	
572 —569	0·88		577·5—574·5	1·11		572 —569	0·98	
569 —565·5	0·93		574·5—569	1·14		569 —564	1·06	
565·5—564	0·95		569 —566·5	1·24		564 —559·5	1·09	
564 —559·5	1·08		566·5—564	1·35		559·5—553·5	1·17	
559·5—553·5	1·14		564 —559·5	1·42		553 5—548·5	1·35	
553·5—548·5	1·27		559·5—553·5	1·51		548·5—543	1·6	
548·5—543	1·6		553·5—548·5	1·7		543 —539	2·03	
543 —539	1·82		548·5—543	2·21		539 —534	2·56	
Merkliches Ergrünen nach 144 Stunden. Kurve 1.			Kein merkl. Ergrünen nach 144 Stunden wie bei den folgend. Kurve 2.			Kurve 3.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
690 —684 μμ	0·03	684 —678 μμ	0·06	690 —684 μμ	0·03
684 —678	0·04	678 —673	0·18	684 —678	0·06
678 —673	0·12	673 —667	0·23	678 —673	0·25
673 —667	0·11	667 —663	0·25	673 —667	0·26
667 —663	0·15	663 —658	0·27	667 —658	0·27
663 —658	0·15	658 —653	0·31	658 —653	0·34
658 —653	0·18	653 —648	0·36	653 —648	0·51
653 —648	0·28	648 —643	0·55	648 —643	0·74
648 —643	0·41	643 —639	0·68	643 —639	0·90
643 —639	0·51	639 —633	0·83	639 —633	0·93
639 —633	0·59	633 —630	0·98	633 —630	1·11
633 —630	0·72	630 —627	0·85	630 —627	1·14
630 —627	0·83	627 —622·5	0·7	627 —622·5	1·02
627 —622	0·72	622·5—617·5	0·68	622·5—617·5	0·83
622 —617·5	0·70	617·5—613	0·7	617·5—613	0·70
617·5—613	0·59	613 —602	0·72	613 —610	0·74
613 —610	0·62	602 —595	0·79	610 —598	0·72
610 —606	0·64	595 —591·5	0·81	598 —595	0·79
606 —602	0·66	591·5—589	0·83	595 —591·5	0·83
602 —598	0·68	589 —583	0·9	591·5—589	0·85
598 —591·5	0·72	583 —580	0·98	589 —585·5	0·90
591·5—589	0·77	580 —577·5	1·00	585·5—583	0·93
589 —583	0·79	577·5—569	1·03	583 —580	1·00
583 —580	0·81	569 —566·5	1·09	580 —577·5	1·06
580 —577·5	0·85	566·5—564	1·11	577·5—574·5	1·09
577·5—574·5	0·9	564 —559·5	1·14	574·5—572	1·14
574·5—572	0·93	559·5—553·5	1·21	572 —564	1·17
572 —569	1·03	553·5—548·5	1·35	564 —559·5	1·24
569 —566·5	1·06	548·5—543	1·6	559·5—553·5	1·27
566·5—564	1·09			553·5—548	1·60
564 —559·5	1·14			548 —543	1·82
559·5—553·5	1·21			543 —539	2·91
553·5—548·5	1·51				
548·5—543	1·6				
543 —539	1·96				
539 —534	2·03				

Kurve 4.

Kurve 5.

Kurve 6.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Lepidium bei $^1/_8$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle								
1 *m*			2 *m*			3 *m*		
704 —697 μμ	0·59		704 —697 μμ	0·59		704 —697 μμ	0·59	
697 —690	0·95		697 —690	0·83		697 —690	0·62	
690 —684	1·17		690 —684	0·88		690 —684	0·64	
684 —678	1·42		684 —673	1·03		684 —673	0·68	
678 —673	1·76		673 —667	1·00		673 —667	0·63	
673 —667	1·70		667 —663	0·93		667 —663	0·66	
667 —663	1·51		663 —658	0·88		663 —653	0·70	
663 —658	1·27		658 —653	0·9		653 —648	0·81	
658 — 653	1·21		653 —648	0·88		648 —643	0·83	
653 —643	1·14		648 —643	0·9		643 —633	0·79	
643 —639	1·06		643 —630	0·92		633 —630	0·77	
639 —633	1·03		630 —622·5	0·88		630 —622·5	0·74	
633 —627	1·09		622·5—617·5	0·9		622·5—617·5	0·72	
627 —617·5	1·17		617·5—613	0·98		617·5—613	0·79	
617·5—610	1·21		613 —610	0·98		613 —610	0·83	
610 —602	1·17		610 —606	0·99		610 —606	0·88	
602 —595	1·14		606 —602	1·00		606 —598	0·9	
595 —591·5	1·11		602 —598	1·03		598 —595	0·93	
591·5—589	1·11		598 —595	1·09		595 —591·5	0·98	
589 —585·5	1·14		595 —591·5	1·09		591·5—589	1·06	
585·5—580	1·17		591·5—585·5	1·09		589 —585·5	1·09	
580 —577·5	1·21		585·5—583	1·17		585·5—580	1·11	
577·5—572	1·27		583 —577·5	1·27		580 —574·5	1·14	
572 —569	1·31		577·5—574	1·42		574·5—572	1·21	
569 —566·5	1·35		574 —569	1·46		572 —564	1·24	
566·5—564	1·51		569 —559	1·51		564 —559·5	1·38	
564 —559·5	1·70		559 —553·5	1·65		559·5—553·5	1·6	
559·5—553·5	1·76		553·5—548·5	1·70		553·5—548	1·07	
553·5—548	1·96		548·5—543	1·82		548 —543	2·12	
548 —543	2·03		543 —539	2·12				
Merkliches Ergrünen nach 144 Stunden.			Sehr mattes Ergrünen nach 144 Stunden.			Kein deutliches Ergrünen. Übrigens ist dieser Versuch ohne erwünschtes Resultat geblieben.		
Kurve 7.			Kurve 8.			Die Kurve ist nicht eingezeichnet.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
704 —697 μμ	0·28	704 —697 μμ	0·41	697 —690 μμ	0·31
697 —690	0·51	697 —690	0·49	690 —684	0·51
690 —684	0·62	690 —684	0·62	684 —678	0·55
684 —678	0·74	684 —673	0·68	678 —673	0·59
678 —673	0·74	673 —667	0·6	673 —667	0·59
673 —667	0·73	667 —663	0·66	667 —663	0·6
667 —663	0·68	663 —658	0·07	663 —658	0·62
663 —658	0·7	658 —653	0·74	658 —653	0·68
658 —653	0·74	653 —648	0·79	653 —648	0·7
653 —648	0·77	648 —643	0·98	648 —643	0·93
648 —643	0·83	643 —639	1·00	643 —639	0·98
643 —639	0·9	639 —633	1·06	639 —633	1·00
639 —633	0·93	633 —630	1·09	633 —630	1·09
633 —627	0·98	630 —627	1·06	630 —627	0·95
627 —617·5	0·93	627 —622·5	0·93	627 —622·5	0·9
617·5—606	0·88	622·5—617·5	0·09	622·5—617·5	0·83
606 —602	0·95	617·5—613	0·83	617·5—613	0·74
602 —595	0·98	613 —610	0·79	613 —606	0·79
595 —591·5	1·11	610 —602	0·72	606 —602	0·72
591·5—589	1·14	602 —598	0·88	602 —598	0·79
589 —585·5	1·17	598 —595	0·93	598 —595	0·88
585·5—580	1·21	595 —591·5	0·98	595 —591·5	0·93
580 —577·5	1·24	591·5—589	1·06	591·5—589	0·98
577·5—569	1·27	589 —585·5	1·09	589 —585·5	1·00
569 —566·5	1·31	585·5—583	1·11	585·5—580	1·09
566·5—564	1·35	583 —577·5	1·14	580 —577·5	1·11
564 —559·5	1·38	577·5—572	1·17	577·5—574·5	1·14
559·5—553·5	1·46	572 —564	1·21	574·5—572	1·17
553·5—548·5	1·60	564 —559	1·27	572 —566·5	1·14
548·5—543	1·7	559 —553 5	1·38	566·5—564	1·21
543 —539	1·89	553·5—548·5	1·60	564 —559·5	1·27
539 —534	2·03	548·5—543	1·76	559·5—553·5	1·35
				553·5—548·5	1·51
				548·5—539	1·6
Kein Ergrünen.		Kurve 10.		Kurve 11.	
Kurve 9.					

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Cucurbita bei $^1/_8$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle

1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	0·31	697 —690 μμ	0·18	697 —690 μμ	0·34
697 —690	0·34	690 —684	0·31	690 —684	0·37
690 —684	0·51	684 —678	0·39	684 —678	0·48
684 —678	0·74	678 —673	0·41	678 —673	0·49
678 —673	0·88	673 —667	0·34	673 —667	0·41
673 —667	1·03	667 —663	0·28	667 —663	0·43
667 —663	0·90	663 —658	0·23	663 —658	0·44
663 —658	0·70	658 —653	0·21	658 —653	0·48
658 —648	0·60	653 —648	0·28	653 —648	0·55
648 —639	0·66	648 —643	0·31	648 —643	0·57
639 —633	0·62	643 —639	0·33	643 —639	0·55
633 —630	0·59	639 —633	0·37	639 —633	0·59
630 —627	0·55	633 —630	0·44	633 —630	0·60
627 —622·5	0·44	630 —627	0·39	630 —622·5	0·59
622·5—617·5	0·62	627 —622·5	0·34	622·5—617·5	0·62
617·5—613	0·72	622·5—617·5	0·48	617·5—613	0·66
613 —610	0·74	617·5—613	0·55	613 —610	0·70
610 —602	0·72	613 —610	0·51	610 —606	0·74
602 —595	0·83	610 —606	0·53	606 —598	0·79
595 —589	0·88	606 —602	0·59	598 —595	0·77
589 —585·5	0·93	602 —598	0·66	595 —591·5	0·81
585·5—583	0·98	598 —595	0·70	591·5—589	0·88
583 —580	1·00	595 —585·5	0·74	589 —585·5	0·93
580 —566·5	1·03	585·5—583	0·77	585·5—580	1·09
566·5—564	1·09	583 —580	0·79	580 —577·5	1·14
564 —559	1·14	580 —577·5	0·83	577·5—574·5	1·17
559 —553·5	1·21	577·5—574·5	0·88	574·5—569	1·21
553·5—548·5	1·31	574·5—566·5	0·90	569 —566·5	1·24
548·5—543	1·60	566·5—564	0·93	566·5—564	1·24
543 —539	2·12	564 —559·5	1·03	564 —559·5	1·35
		559·5—553·5	1·09	559·5—553·5	1·42
		553·5—548	1·21	553·5—548	1·51
		548 —543	1·35	548 —543	2·03
		543 —539	1·60		
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Kein Ergrünen nach 144 Stunden.			
Kurve 12.		Kurve 13.		Kurve 14.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle

4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —690 μμ	0·25	690 —684 μμ	0·15	690 —684 μμ	0·41
690 —684	0·18	684 —673	0·18	684 —678	0·34
684 —678	0·21	673 —667	0·21	678 —673	0·51
678 — 667	0·25	667 —663	0·23	673 —667	0·53
667 —663	0 26	663 —653	0·25	667 — 663	0·64
663 —658	0·29	653 —648	0·30	663 —658	0·66
658 —653	0·31	648 —643	0·34	658 —653	0·68
653 —648	0·34	643 —639	0·36	653 —648	0·70
648 —643	0·37	639 —633	0·41	648 —643	0·74
643 —639	0·41	633 —630	0·44	643 —639	0·83
639 —633	0·46	630 —627	0·43	639 —633	0·90
633 —630	0·51	627 —622·5	0·34	633 —630	0·91
630 —627	0·49	622·5—617·5	0·41	630 —627	0·83
627 —622·5	0·48	617·5—613	0 44	627 —622·5	0·79
622·5—617·5	0·46	613 —606	0·51	622·5—613	0·77
617·5—613	0·44	606 —602	0·45	613 —606	0·74
613 —610	0·48	602 — 598	0·53	606 —602	0·70
610 —602	0·51	598 —595	0·55	602 —598	0·68
602 —598	0·55	595 —589	0·59	598 —591·5	0·70
598 —595	0·53	589 —585·5	0·60	591·5—589	0·74
595 —591·5	0·55	585·5—583	0 66	589 —585·5	0·79
591·5—589	0·62	583 —580	0·74	585·5—583	0·83
589 —585·5	0·64	580 —577·5	0·88	583 —580	0·90
585·5—583	0·66	577·5—574·5	1·03	580 —577·5	0·93
583 —580	0·70	574·5—569	1·09	577·5—574·5	1·03
580 —577·5	0·72	569 —566·5	1·14	574·5—566·5	1·09
577·5—574·5	0·74	566·5—564	1·21	566·5—564	1·11
574·5—572	0·77	564 —559·5	1·27	564 —559·5	1·21
572 —569	0·83	559·5—553·5	1·42	559·5—553·5	1·27
569 —564	0·88	553·5—548·5	1·6	553·5—548·5	1·35
564 —559·5	0·98	548·5—543	1·7	548·5—543	1·42
559·5—553·5	1·03			543 —539	1·60
553·5—548	1·09			539 —534	1·70
548 —543	1·21				
543 —539	1·27				
539 — 534	1·6				
534 —529·5	1·7				

Kurve 15.

Kurve 16.

Kurve 17.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Phaseolus bei $^1/_8$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle					
1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	0·15	697 —690 μμ	0·51	704 —697 μμ	0·28
697 —690	0·44	690 —684	0·53	697 —690	0·44
690 —684	0·70	684 —678	0·68	690 —684	0·48
684 —678	0·93	678 —673	0·70	684 —678	0·55
678 —667	1·21	673 —667	0·66	678 —667	0·51
667 —663	1·11	667 —663	0·57	667 —663	0·44
663 —658	1·09	663 —653	0·60	663 —658	0·41
658 —653	0·74	653 —648	0·62	658 —653	0·48
653 —648	0·66	648 —643	0·66	653 —648	0·64
648 —643	0·70	643 —639	0·83	648 —643	0·74
643 —639	0·83	639 —633	0·88	643 —639	0·81
639 —633	0·92	633 —630	0·83	639 —633	0·83
633 —627	0·88	630 —627	0·74	633 —630	0·88
627 —622·5	0·93	627 —622·5	0·72	630 —627	0·85
622·5—617·5	0·85	622·5—613	0·70	627 —622·5	0·79
617·5—610	0·74	613 —610	0·68	622·5—617·5	0·68
610 —606	0·70	610 —606	0·66	617·5—606	0·70
606 —602	0·66	606 —595	0·74	606 —602	0·79
602 —598	0·72	595 —589	0·79	602 —598	0·81
598 —595	0·74	589 —585·5	0·80	598 —595	0·83
595 —591·5	0·79	585·5—583	0·83	595 —589	0·88
591·5—589	0·83	583 —580	0·79	589 —585·5	0·93
589 —585·5	0·88	580 —572	0·81	585·5—583	0·98
585·5—580	0·93	572 —566·5	0·93	583 —580	0·95
580 —577·5	0·95	566·5—564	0·95	580 —572	0·98
577·5—572	0·98	564 —559·5	1·06	572 —566·5	1·00
572 —569	1·00	559·5—553·5	1·09	566·5—564	1·06
569 —553·5	1·03	553·5—548·5	1·17	564 —559·5	1·09
553·5—548·5	1·09	548·5—543	1·27	559·5—553·5	1·14
548·5—543	1·17	543 —534	1·42	553·5—548·5	1·24
543 —539	1·27	534 —529	1·51	548·5—543	1·27
539 —534	1·51			543 —539	1·35
534 —529	1·89			539 —534	1·60
Merkliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Kein merkliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Kurve 20.	
Kurve 18.		Kurve 19.			

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —690 μμ	0·44	690 —684 μμ	0·28	684 —678 μμ	0·28
690 —684	0·43	684 —678·5	0·68	678 —673	0·31
684 —667	0·41	678·5—673	0·66	673 —667	0·35
667 —663	0·44	673 —667	0·62	667 —658	0·37
663 —658	0·51	667 —663	0·68	658 —653	0·48
658 —653	0·55	663 —653	0·70	653 —648	0·62
653 —648	0 62	653 —648	0·77	648 —643	0·70
648 —643	0·72	648 —643	0·83	643 —639	0·74
643 —630	0·74	643 —639	0·88	639 —633	0·93
630 —627	0·72	639 —633	1·03	633 —630	0·98
627 —622·5	0·70	633 —630	1·21	630 —627	0·93
622·5—617	0·68	630 —622·5	1·17	627 —622·5	0·88
617 —613	0·70	622·5—617·5	1·14	622·5—617·5	0·79
613 —610	0·79	617·5—613	1·11	617·5—613	0·74
610 —606	0·83	613 —610	1·09	613 —610	0·68
606 —602	0·85	610 —602	1·06	610 —606	0·70
602 —598	0·70	602 —598	1·03	606 —602	0·79
598 —591·5	0 88	598 —595	1·00	602 —598	0·88
591·5—589	0·95	595 —589	0·98	598 —595	0·93
589 —585·5	0·98	589 —585	1·03	595 —589	0·95
585·5—580	1·00	585·5—577·5	1·09	589 —585·5	0·98
580 —577·5	1·03	577·5—572	1·14	585·5—583	0·93
577·5—572	1·06	572 —569	1·17	583 —580	1·03
572 —566·5	1·09	569 —564	1·21	580 —577·5	1·06
566·5—564	1·14	564 —559·5	1·24	577·5—564	1·09
564 —553·5	1·17	559 —553·5	1·27	564 —553·5	1·14
553·5—548·5	1·21	553·5—543	1·31	553·5 - 548·5	1·17
548·5—543	1·31	543 —539	1·35	548·5—534	1·21
543 —534	1·42	539 —534	1·42	534 —529	1·35
534 —529·5	1·55	534 —529	1·51	529 —525·5	1·51
Kurve 21.		Kurve 22.		Kurve 23.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Gerste bei $^1/_4$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle

1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	1·21	697 —690 μμ	0·15	704 —697 μμ	0·34
697 —690	1·27	690 —684	0·40	697 —690	0·37
690 —684	1·60	684 —678	0·74	690 —684	0·62
684 —658	∞	678 —673	1·02	684 —678	0·83
658 —653	1·96	673 —667	1·34	678 —673	0·93
653 —648	1·46	667 —663	1·42	673 —667	0·90
648 —643	1·35	663 —658	1·30	667 —663	0·85
643 —633	1·24	658 —653	1·00	663 —658	0·74
633 —630	1·21	653 —648	0·85	658 —653	0·70
630 —627	1·38	648 —643	0·64	653 —648	0·66
627 —625·5	1·46	643 —639	0·66	648 —643	0·68
625·5—617·5	1·55	639 —633	0·74	643 —639	0·74
617·5—610	1·60	633 —630	0·72	639 —633	0·90
610 —606	1·50	630 —627	0·70	633 —630	0·88
606 —602	1·46	627 —622·5	0·72	630 —627	0·85
602 —595	1·21	622·5—617·5	0·74	627 —622·5	0·87
595 —591·5	1·86	617·5—613	0·83	622·5—617·5	0·85
591·5—589	1·14	613 —610	0·88	617·5—613	0·87
589 —585·5	1·17	610 —606	0·90	613 —610	0·95
585·5—577·5	1·20	606 —602	0·78	610 —606	0·97
577·5—574·5	1·27	602 —598	0·73	606 —598	0·93
574·5—572	1·35	598 —591·5	0·70	598 —595	0·95
572 —569	1·51	591·5—589	0·74	595 —589	1·03
569 —566·5	1·60	589 —585·5	0·83	589 —585·5	1·06
566·5—564	1·70	585·5—580	0·85	585·5—583	1·09
564 —559·5	1·82	580 —577·5	0·90	583 —577·5	1·14
559·5—553·5	2·12	577·5—574·5	0·93	577·5—574·5	1·21
553·5—548·5	2·31	574·5—572	1·00	574·5—572	1·27
		572 —569	1·03	572 —569	1·46
		569 —566·5	1·06	569 —566·5	1·42
		566·5—564	1·09	566·5—564	1·46
		564 —559·5	1·14	564 —559·5	1·51
		559·5—553·5	1·27	559·5—553·5	1·55
		553·5—548·5	1·35	553·5—548·5	1·96
		548·5 – 543	1·60	548·5—543	2·31
		543 —539	1·97		
		539 —534	2·12		
		534 —529	2·31		
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Sehr schwaches Ergrünen nach 144 Stunden.	
Kurve 24.		Kurve 25.		Kurve 26.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
704 —697 μμ	0·28	704 —697 μμ	0·15	690 —684 μμ	0·21
697 —690	0·21	697 —690	0·17	684 —678	0·24
690 —684	0·25	690 —684	0·25	678 —673	0·37
684 —678	0·44	684 —678	0·36	673 —667	0·33
678 —673	0·59	678 —673	0·41	667 —663	0·34
673 —667	0·55	673 —667	0·44	663 —658	0·37
667 —663	0·51	667 —663	0·39	658 —653	0·41
663 —658	0·39	663 —658	0·37	651 —648	0·44
658 —653	0·41	658 —653	0·41	648 —643	0·51
653 —648	0·57	653 —648	0·58	643 —639	0·62
648 —643	0·62	648 —643	0·74	639 —633	0·83
643 —639	0·70	643 —639	0·79	633 —630	0·88
639 —633	0·74	639 —633	0·90	630 —627	0·85
633 —630	0·78	633 —630	0·93	627 —622·5	0·72
630 —627	0·72	630 —627	0·79	622·5—617·5	0·70
627 —622·5	0·70	627 —622·5	0·70	617·5—613	0·68
622·5—617·5	0·66	622·5—617·5	0·74	613 —610	0·74
617·5—613	0·68	617·5—613	0·78	610 —602	0·77
613 —610	0·74	613 —606	0·83	602 —598	0·88
610 —606	0·77	606 —602	0·93	598 —595	0·93
606 —602	0·74	602 —595	0·98	595 —591·5	0·98
602 —598	0·78	595 —591·5	1·00	591·5—589	1·00
598 —595	0·85	591·5—589	1·09	589 —585·5	1·03
595 —591·5	0·93	589 —585·5	1·11	585·5—580	1·06
591·5—589	0·95	585·5—583	1·17	580 —577·5	1·11
589 —583	1·03	583 —580	1·20	577·5—572	1·21
583 —580	1·09	580 —577·5	1·24	572 —566·2	1·24
580 —577·5	1·14	577·5—574·5	1·27	566·2—564	1·27
577·5—566·5	1·21	574·5—569	1·31	564 —559·5	1·24
566·5—564	1·22	569 —564	1·35	559·5—553·5	1·27
564 —559	1·24	564 —559	1·42	553·5—548·5	1·31
559 —553·5	1·27	559 —553·5	1·51	548·5—543	1·38
553·5—548·5	1·35	553·5—548·5	1·60	543 —539	1·60
548·5—543	1·51	548·5—543	1·82	539 —534	1·82
543 —539	1·96	543 —539	1·96		
539 —534	2·12	539 —534	2·03		

Kein Ergrünen nach 144 Stunden.

Kurve 27.

Kurve 28.

Kurve 29.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Lepidium bei $^1/_4$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle					
1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	0·25	704 —697 μμ	0·34	704 —697 μμ	0·33
697 —690	1·21	697 —690	0·41	697 —690	0·37
690 —684	1·55	690 —684	0·83	690 —684	0·59
684 —678	2·56	684 —678	2·12	684 —678	0·83
678 —658	∞	678 —667	∞	678 —673	1·21
658 —653	2·31	667 —663	4·12	673 —667	1·31
653 —648	2·12	663 —658	1·87	667 —663	1·11
648 —642	2·03	658 —653	1·27	663 —658	0·98
642 —630	1·96	653 —648	1·08	658 —653	0·83
630 —627	2·12	648 —643	1·03	653 —648	0·70
627 —622·5	2·08	643 —639	1·06	648 —643	0·93
622·5—617·5	2·03	639 —633	1·24	643 —639	1·00
617·5—613	1·96	633 —630	1·27	639 —633	1·17
613 —610	1·89	630 —627	1·24	633 —630	1·24
610 —606	1·82	627 —625·5	1·21	630 —627	1·21
606 —602	1·70	625·5—617·5	1·17	627 —622·5	1·09
602 —598	1·65	617·5—613	1·11	622·5—617·5	1·03
598 —595	1·55	613 —606	1·15	617·5—613	1·00
595 —589	1·60	606 —602	1·00	613 —610	0·95
589 —583	1·64	602 —598	0·95	610 —606	0·77
583 —580	1·69	598 —595	0·93	606 —602	0·88
580 —572	1·70	595 —591·5	0·95	602 —598	0·90
572 —569	1·76	591·5—589	0·98	598 —595	0·93
569 —566·5	1·89	589 —585·5	1·03	595 —591·5	0·98
566·5—559·5	1·96	585·5—583	1·00	591·5—589	1·00
559·5—553·5	2·12	583 —580	1·03	589 —583	1·06
		580 —577·5	1·14	583 —580	1·17
		577·5—574·5	1·21	580 —574·5	1·24
		574·5—569	1·27	574·5—569	1·27
		569 —566·5	1·31	569 —566·5	1·38
		566·5—564	1·35	566·5—564	1·42
		564 —559·5	1·46	564 —559·5	1·60
		559·5—553·5	1·76	559·5—553·5	1·70
		553·5—548·5	2·03	553·5—548·5	2·03
		548·5—543	2·91	548·5—543	2·21
Deutlich wahrnehmbares Ergrünen nach 144 Stunden.		Deutlich wahrnehmbares Ergrünen nach 144 Stunden.		Ganz schwaches Ergrünen nach 144 Stunden.	
Kurve 30.		Kurve 31.		Kurve 32.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
704 —697 μμ	0·51	704 —697 μμ	0·31	704 —697 μμ	0·12
697 —690	0·59	697 —690	0·33	697 —690	0·25
690 —684	0·70	690 —684	0·44	690 —684	0·31
684 —678	0·85	684 —678	0·70	684 —678	0·36
678 —673	0·98	678 —673	0·85	678 —673	0·59
673 —667	1·03	673 —667	0·90	673 —667	0·60
667 —663	0·98	667 —663	0·88	667 —663	0·55
663 —658	0·88	663 —658	0·74	663 —658	0·49
658 —653	0·85	658 —653	0·70	658 —653	0·51
653 —648	0·93	653 —648	0·79	653 —648	0·59
648 —643	1·14	648 —643	1·00	648 —643	0·90
643 —639	1·24	643 —639	1·27	643 —639	1·09
639 —633	1·27	639 —633	1·51	639 —633	1·42
633 —630	1·46	633 —630	1·60	633 —630	1·46
630 —627	1·42	630 —627	1·42	630 —627	1·24
627 —622·5	1·35	627 —622·5	1·35	627 —622·5	1·21
622·5—617·5	1·24	622·5—617·5	1·24	622·5—617·5	1·11
617·5—613	1·17	617·5—613	1·21	617·5—613	1·09
613 —610	1·20	613 —598	1·03	613 —610	0·88
610 —602	1·17	598 —595	0·98	610 —606	0·83
602 —598	1·21	595 —591·5	1·00	606 —602	0·70
598 —595	1·24	591·5—589	1·09	602 —598	0·72
595 —589	1·27	589 —585·5	1·11	598 —595	0·77
589 —583	1·35	585·5—583	1·14	595 —591·5	0·79
583 —580	1·46	583 —580	1·24	591·5—589	0·90
580 —577·5	1·51	580 —574·5	1·31	589 —585·5	1·00
577·5—574·5	1·55	574·5—572	1·46	585·5—583	1·03
574·5—572	1·60	572 —569	1·51	583 —580	1·11
572 —564	1·70	569 —566·5	1·53	580 —577·5	1·17
564 —559·5	1·76	566·5—564	1·60	577·5—572	1·21
559·5—553·5	1·82	564 —559·5	1·65	572 —569	1·27
553·5—548·5	1·89	559·5—553·5	1·70	569 —564	1·38
548·5—543	2·12	553·5—548·5	1·82	564 —559	1·51
543 —539	2·31	548·5—541	2·21	559 —553·5	1·70
				553·5—548·5	1·89
				548·5—543	2·12
Kein sichtbares Ergrünen nach 144 Stunden.					
Kurve 33.		Kurve 34.		Kurve 35.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Cucurbita bei $^1/_4$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle					
1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	0·66	697 —690 μμ	0·15	697 —690 μμ	0·21
697 —684	0·82	690 —684	0·23	690 —684	0·24
684 —678	1·08	684 —678	0·37	684 —678	0·41
678 —673	1·51	678 —673	0·79	678 —673	0·44
673 —667	1·60	673 —667	0·81	673 —667	0·41
667 —663	1·70	667 —663	0·62	667 —663	0·34
663 —658	1·55	663 —658	0·48	663 —658	0·33
658 —653	1·21	658 —653	0·44	658 —653	0·20
653 —648	1·00	653 —648	0·34	653 — 648	0·21
648 —643	0·79	648 —643	0·34	648 —643	0·25
643 —639	0·90	643 —639	0·37	643 —639	0·26
639 —630	0·93	639 —633	0·39	639 —633	0·34
630 —627	0·95	633 —630	0·41	633 —630	0·44
627 —622·5	0·88	630 —627	0·37	630 —627	0·40
622·5—613	0·93	627 —622·5	0·31	627 —622·5	0·36
613 —610	0·90	622·5—617·5	0·44	622·5—617·5	0·28
610 —606	0·85	617·5—610	0·42	617·5—613	0·34
606 —595	0·88	610 —606	0·41	613 —610	0·37
595 —589	0·83	606 —602	0·44	610 —606	0·36
589 —585·5	0·88	602 —598	0·51	606 —598	0·34
585·5—583	0·95	598 —591·5	0·55	598 —595	0·41
583 —580	0·97	591·5—589	0·57	595 —589	0·48
580 —577·5	1·09	589 —585·5	0·59	589 —585·5	0·51
577·5—574·5	1·11	585·5—583	0·66	585·5—583	0·62
574·5—572	1·14	583 —580	0·70	583 —580	0·66
572 —569	1·17	580 —577·5	0·72	580 —574·5	0·70
569 —564	1·21	577·5—572	0·74	574·5—572	0·74
564 —559	1·27	572 —569	0·79	572 —569	0·85
559 —553·5	1·51	569 —566·5	0·88	569 —566·5	0·90
553·5—548·5	1·60	566·5—564	0·90	566·5—564	0·95
548·5—543	1·70	564 —559·5	1·17	564 —559·5	0·98
543 —539	1·96	559·5—553·5	1·42	559·5—553·5	1·11
539 —534	2·03	553·5—548	1·51	553·5—548	1·34
		548 —543	1·60	548 —543	1·46
				543 —539	1·60
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Sehr schwaches Ergrünen nach 144 St.		Kein Ergrünen nach 144 Stunden.	
Kurve 36.		Kurve 37.		Kurve 38.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —699 μμ	0·09	697 —690 μμ	0·09	697 —690 μμ	0·06
690 —684	0·15	690 —684	0·00	690 —684	0·00
684 —678	0·28	684 —678	0·03	684 —678	0·03
678 —673	0·33	678 —673	0·08	678 —673	0·05
673 —667	0·34	673 —667	0·12	673 —667	0·06
667 —663	0·31	667 —663	0·08	667 —663	0·02
663 —658	0·29	663 —658	0·09	663 —658	0·08
658 —653	0·28	658 —653	0·11	658 —653	0·15
653 —648	0·25	653 —648	0·14	653 —648	0·20
648 —643	0·18	648 —643	0·15	648 —643	0·21
643 —639	0·28	643 —639	0·17	643 —639	0·25
639 —633	0·37	639 —633	0·21	639 —633	0·34
633 —630	0·51	633 —630	0·28	633 —630	0·37
630 —627	0·48	630 —627	0·24	630 —627	0·36
627 —622·5	0·41	627 —622·5	0·23	627 —622·5	0·34
622·5—617·5	0·40	622·5—617·5	0·15	622·5—617	0·32
617·5—613	0·42	617·5—613	0·06	617 —613	0·29
613 —606	0·48	613 —610	0·12	613 —610	0·31
606 —602	0·55	610 —606	0·21	610 —602	0·39
602 —598	0·60	606 —602	0·28	602 —598	0·41
598 —595	0 62	602 —598	0·31	598 —595	0·46
595 —591·5	0·60	598 —585·5	0·33	595 —591·5	0·53
591·5—589	0·66	585·5—577·5	0·34	591·5—585·5	0·59
589 —585·5	0·70	577·5—574·5	0·36	585·5—583	0·62
585·5—583	0·74	574·5—572	0·41	583 —580	0·70
583 —580	0·85	572 —569	0·48	580 —577·5	0·74
580 —577·5	0·88	569 —564	0·51	577·5—572	0·79
577·5—574·5	0·90	564 —559·5	0·70	572 —569	0·83
574·5—572	0·93	559·5—553·5	0·83	569 —566·5	0·85
572 —569	0·98	553·5—548·5	1·09	566·5—564	0·88
569 —566	1·06	548·5—543	1·24	564 —559·5	0·93
566 —564	1·09	543 —539	1·46	559·5—553·5	1·17
564 —559	1·14			553·5—548	1·24
559 —553·5	1·21			548 —543	1·27
553·5—548	1·46			543 —539	1·51
548 —543	1·82			539 —534	1·70
Kurve 39.		Kurve 40.		Kurve 41.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Phaseolus bei $^1/_4$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle					
1 *m*		2 *m*		3 *m*	
697 —690 μμ	0·48	690 —684 μμ	0·31	690 —684 μμ	0·00
690 —684	0·77	684 —678	0·28	684 —678	0·02
684 —678	1·09	678 —673	0·41	678 —673	0·03
678 —673	1·14	673 —667	0·39	673 —667	0·08
673 —667	1·06	667 —663	0·31	667 —663	0·09
667 —663	0·98	663 —658	0·28	663 —658	0·06
663 —658	0·74	658 —653	0·26	658 —653	0·03
658 —653	0·48	653 —648	0·31	653 —648	0·05
653 —648	0·51	648 —643	0·33	648 —643	0·06
648 —643	0·49	643 —639	0·34	643 —639	0·09
643 —627	0·51	639 —633	0·37	639 —633	0·11
627 —622·5	0·53	633 —630	0·41	633 —630	0·18
622·5—617·5	0·51	630 —627	0·36	630 —627	0·25
617·5—610	0·62	627 —622·5	0·37	627 —622·5	0·23
610 —606	0·59	622·5—617·5	0·28	622·5—617·5	0·14
606 —602	0·53	617·5—613	0·31	617·5—613	0·12
602 —598	0·55	613 —610	0·25	613 —610	0·15
598 —595	0·59	610 —606	0·21	610 —606	0·21
595 —591·5	0·62	606 —602	0·20	606 —602	0·18
591·5—589	0·66	602 —595	0·21	602 —598	0·15
589 —583	0·70	595 —591·5	0·31	598 —595	0·28
583 —580	0·74	591·5—589	0·34	595 —591·5	0·29
580 —569	0·77	589 —585·5	0·37	591·5—585·5	0·34
569 —564	0·79	585·5—583	0·41	585·5—580	0·37
564 —559·5	0·88	583 —580	0·46	580 —574	0·40
559·5—553·5	0·93	580 —577·5	0·55	574 —569	0·41
553·5—548·5	1·03	577·5—574·5	0·57	569 —564	0·42
548·5—543	1·14	574·5—569	0·66	564 —559·5	0·46
543 —539	1·21	569 —564	0·68	559·5—553·5	0·48
539 —534	1·24	564 —559·5	0·70	553·5—548	0·55
		559·5—548	0·72	548 —543	0·60
		548 —543	0·74	543 —539	0·62
		543 —539	0·77	539 —534	0·68
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Sehr schwaches Ergrünen nach 144 St.		Kein Ergrünen nach 144 Stunden.	
Kurve 42.		Kurve 43.		Kurve 44.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —690 μμ	0·18	697 —690 μμ	0·21	697 —690 μμ	0·18
690 —684	0·09	690 —684	0·03	690 —684	0·00
684 —678	0·12	684 —678	0·05	684 —678	0·03
678 —667	0·15	678 —673	0·05	678 —667	0·04
667 —663	0·13	673 —667	0·06	667 —639	0·06
663 —658	0·09	667 —648	0·03	639 —633	0·21
658 —653	0·17	648 —643	0·00	633 —630	0·26
653 —633	0·18	643 —639	0·02	630 —627	0·25
633 —630	0·34	639 —633	0·15	627 —622·5	0·31
630 —627	0·24	633 —630	0·25	622·5—617·5	0·29
627 —622·5	0·23	630 —627	0·18	617·5—613	0·23
622·5—617·5	0·25	627 —622·5	0·17	613 —610	0·18
617·5—613	0·29	622·5—617·5	0·06	610 —606	0·17
613 —610	0·31	617·5—613	0·09	606 —602	0·12
610 —606	0·34	613 —610	0·15	602 —598	0·09
606 —602	0·35	610 —606	0·20	598 —595	0·12
602 —598	0·48	606 —602	0·21	595 —591·5	0·17
598 —595	0·44	602 —598	0·25	591·5—589	0·18
595 —591·5	0·42	598 —595	0·26	589 —585·5	0·23
591·5—589	0·37	595 —591·5	0·21	585·5—583	0·28
589 —585·5	0·39	591·5—589	0·25	583 —580	0·31
585·5—583	0·44	589 —585·5	0·26	580 —577·5	0·34
583 —580	0·51	585·5—583	0·31	577·5 – 574	0·39
580 —577·5	0·55	583 —577·5	0·34	574 —572	0·37
577·5—572·5	0·57	577·5—574·5	0·39	572 —569	0·39
572·5—566·5	0·57	574·5—572	0·41	569 —564	0·44
566·5—564	0·59	572 —569	0·43	564 —559·5	0·48
564 —559·5	0·60	569 —564	0·44	559·5—553·5	0·55
559·5—553·5	0·62	564 —559·5	0·46	553·5—548·5	0·57
553·5—548·5	0·66	559·5—553·5	0·51	548·5—543	0·59
548·5—543	0·70	553·5—548	0·55	543 —539	0·64
		548 —543	0·59	539 —533	0·70
		543 —539	0·62		
		539 —534	0·66		
Kurve 45.		Kurve 46.		(*)	

(*) Bei diesem Versuche erscheinen die Absorptionen dem stark brechbaren Teile zugerückt. Es kommt dies von der geringen Konzentration des gelösten Farbstoffes. Parallelversuche zeigten die Intensitäts- und Ortsverhältnisse viel entsprechender. Allein es schien nicht gestattet, einen besser gelungenen Versuch in diese Versuchsreihe einzuschieben. — Die Kurve ist nicht eingezeichnet.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Gerste bei $^1/_2$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle					
1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	0·48	704 —697 μμ	0·46	697 —690 μμ	0·44
697 —690	1·02	697 —690	0·59	690 —684	0·34
690 —684	1·35	690 —684	0·85	684 —678	0·66
684 —648	∞	684 —678	1·42	678 —673	0·97
648 —643	2·72	678 —663	∞	673 —667	1·82
643 —633	2·56	663 —658	2·91	667 —663	2·31
633 —630	2·12	658 —653	1·82	663 —658	1·76
630 —627	2·10	653 —648	1·42	658 —653	1·51
627 —622·5	2·31	648 —643	1·35	653 —648	1·14
622·5—617·5	2·56	643 —639	1·21	648 —643	0·83
617·5—613·5	3·52	639 —630	1·14	643 —639	0·79
613·5—610	∞	630 —627	1·09	639 —633	0·85
610 —606	4·12	627 —622·5	1·03	633 —630	0·97
606 —602	3·16	622·5—617·5	1·00	630 —622·5	0·83
602 —598	2·43	617·5—613	1·09	622·5—617·5	0·70
598 —595	2·31	613 —610	1·14	617·5—613	0·88
595 —591·5	1·82	610 —606	1·03	613 —610	1·08
591·5—589	1·70	606 —602	1·09	610 —606	1·03
589 —585·5	1·51	602 —598	0·98	606 —602	0·98
585·5—580	1·46	598 —595	0·95	602 —598	0·95
580 —577·5	1·60	595 —591·5	0·92	598 —595	0·83
577·5—574·5	1·65	591·5—585·5	0·83	595 —591·5	0·81
574·5—572	1·82	585·5—583	0·79	591·5—589	0·70
572 —569	1·89	583 —580	0·88	589 —585·5	0·79
569 —566·5	1·96	580 —574·5	0·93	585·5—583	0·83
566·5—564	2·12	574·5—572	0·95	583 —580	0·85
564 —559·5	2·30	572 —569	1·09	580 —577·5	0·93
559·5—553·5	2·91	569 —566·5	1·21	577·5—572	0·98
553·5—548·5	4·12	566·5—564	1·27	572 —569	1·00
		564 —559·5	1·42	569 —566·5	1·03
		559·5—553·5	1·60	566·5—564	1·11
		553·5—548·5	1·82	564 —559·5	1·14
		548·5—543	2·12	559·5—553·5	1·21
		543 —539	2·30	553·5—548	1·35
		539 —534	2·91	548 —543	1·60
				543 —539	1·70
				539 —534	1·82
				534 —529	2·56
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		(*)	
Kurve 47.		Kurve 48.			
(*) Schwaches Ergrünen nach 144 Stunden.					
Kurve 49.					

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle								
4 *m*			5 *m*			6 *m*		
690	—684 μμ	0·21	690	—684 μμ	0·15	697	—690 μμ	0·31
684	—678	0·37	684	—678	0·28	690	—684	0·15
678	—673	0·70	678	—673	0·49	684	—678	0·18
673	—667	0·93	673	—667	0·54	678	—673	0·48
667	—663	1·09	667	—663	0·51	673	—667	0·51
663	—658	0·98	663	—658	0·48	667	—663	0·34
658	—653	0·90	658	—653	0·41	663	—653	0·31
653	—648	0·66	653	—648	0·28	653	—648	0·37
648	—643	0·51	648	—643	0·37	648	—643	0·39
643	—639	0·44	643	—639	0·44	643	—639	0·40
639	—633	0·53	639	—633	0·51	639	—633	0·73
633	—630	0·64	633	—630	0·64	633	—630	0·81
630	—627	0·62	630	—627	0·60	630	—617·5	0·74
627	—622·5	0·60	627	—622·5	0·62	617·5	—613	0·66
622·5	—617·5	0·53	622·5	—617·5	0·51	613	—610	0·51
617·5	—613	0·51	617·5	—613	0·48	610	—606	0·44
613	—610	0·59	613	—610	0·44	606	—602	0·51
610	—606	0·62	610	—606	0·46	602	—598	0·53
606	—602	0·60	606	—595	0·48	598	—595	0·62
602	—591·5	0·59	595	—589	0·51	595	—591·5	0·66
591·5	—589	0·62	589	—585·5	0·55	591·5	—589	0·62
589	—583	0·66	585·5	—583	0·62	589	—585·5	0·64
583	—577·5	0·79	583	—580	0·70	585·5	—583	0·68
577·5	—569	0·83	580	—574·5	0·72	583	—580	0·72
569	—564	0·88	574·5	—572	0·82	580	—577·5	0·74
564	—559·5	0·92	572	—569	0·90	577·5	—574·5	0·83
559·5	—553·5	0·98	569	—565·5	0·93	574·5	—572	0·90
553·5	—548	1·09	565·5	—564	0·98	572	—569	0·93
548	—543	1·11	564	—559·5	1·00	569	—566·5	1·00
543	—539	1·38	559·5	—553·5	1·03	566·5	—564	1·02
539	—534	1·60	553·5	—548·5	1·09	564	—559·5	1·09
534	—529·5	1·89	548·5	—543	1·27	559·5	—553·5	1·14
529·5	—525·5	2·12	543	—539	1·51	553·5	—548·5	1·24
525·5	—521	2·91	539	—534	1·60	548·5	—543	1·34
521	—516·5	3·16	534	—529·5	1·65	543	—539	1·42
			529·5	—525·5	1·96	539	—534	1·51
			525·5	—521	2·12	534	—529·5	1·56
						529·5	—525·5	1·76
Kein Ergrünen nach 144 Stunden.								
Kurve 50.			Kurve 51.			Kurve 52.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Lepidium bei $^1/_2$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle

1 *m*		2 *m*		3 *m*	
704 —697 μμ	1·11	704 —697 μμ	0·55	697 —690 μμ	0·51
697 —690	1·51	697 —690	0·79	690 —684	0·41
690 —577·5	∞	690 —684	0·88	684 —678	0·54
577·5—574·5	3·16	684 —678	1·65	678 —673	0·70
574·5—572	2·56	678 —653	∞	673 —667	0·83
572 —569	2·72	653 —648	1·42	667 —663	1·14
569 —566·5	2·91	648 —643	1·24	663 —658	1·55
566·5—564	4·12	643 —639	1·21	658 —653	1·46
		639 —630	1·24	653 —648	1·24
		630 —627	1·31	648 —643	0·98
Endabsorption. Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		627 —622·5	1·38	643 —639	0·83
		622·5—617·5	1·46	639 —633	0·70
		617·5—613	1·27	633 —630	0·74
		613 —610	1·21	630 —622·5	0·85
		610 —598	1·11	622·5—617·5	0·87
		598 —591·5	1·10	617·5—610	0·90
		591·5—585·5	1·09	610 —606	0·88
		585·5—583	1·03	606 —602	0·79
		583 —580	1·08	602 —598	0·70
		580 —574·5	1·14	598 —595	0·68
		574·5—572	1·21	595 —591·5	0·62
		572 —569	1·23	591·5—585·5	0·66
		569 —561	1·27	585·5 - 580	0·74
		561 —556	1·42	580 —574·5	0·88
		556 —551	1·51	574·5—572	0·85
		551 —548·5	1·65	572 —569	0·88
		548·5—546	1·70	569 —566·5	0·98
		546 —543	1·82	566·5—564	1·00
		543 —541	2·11	564 —559·5	1·03
		541 —539	2·56	559·5—553·5	1·21
				553·5—548·5	1·46
				548·5—543	1·51
		Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.		543 —539	1·60
				539 —534	1·82
				534 —527	2·56
Kurve 53.		Kurve 54.		Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.	
				Kurve 55.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —690 μμ	0·09	697 —690 μμ	0·34	697 —690 μμ	0·34
690 —684	0·46	690 —684	0·48	690 —684	0·41
684 —678	0·51	684 —678	0·70	684 —678	0·48
678 —673	0·74	678 —673	0·88	678 —673	0·51
673 —667	0·83	673 —667	0·98	673 —667	0·83
667 —663	0·95	667 —663	1·02	667 —663	0·62
663 —658	1·00	663 —658	1·00	663 —658	0·60
658 —653	0·66	658 —653	0·62	658 —653	0·51
653 —648	0·51	653 —648	0·51	653 —648	0·62
648 —639	0·55	648 —643	0·70	648 —643	0·55
639 —633	0·62	643 —639	0·81	643 —639	0·62
633 —630	0·88	639 —633	0·88	639 —633	0·83
630 —627	0·83	633 —630	1·03	633 —630	0·85
627 —622·5	0·70	630 —627	0·90	630 —627	0·97
622·5—617·5	0·64	627 —622·5	0·93	627 —622·5	0·83
617·5—613	0·59	622·5—617·5	0·88	622·5—617·5	0·81
613 —610	0·66	617·5—613	0·85	617·5—613	0·79
610 —602	0·55	613 —610	0·79	613 —610	0·70
602 —591·5	0·62	610 —606	0·77	610 —606	0·66
591·5—589	0·66	606 —602	0·81	606 —602	0·74
589 —585·5	0·74	602 —598	0·81	602 —598	0·72
585·5—583	0·79	598 —595	0·93	598 —595	0·88
583 —580	0·85	595 —589	0·98	595 —591·5	0·90
580 —577·5	0·88	589 —585·5	1·00	591·5—589	0·98
577·5—574·5	0·93	585·5—583	1·08	589 —585	0·93
574·5—572	0·97	583 —580	1·11	585 —583	0·95
572 —569	1·02	580 —577·5	1·14	583 —580	0·98
569 —566·5	1·06	577·5—574·5	1·17	580 —577·5	1·03
566·5—564	1·09	574·5—572	1·21	577·5—574·5	1·06
564 —559·5	1·34	572 —564	1·27	574·5—572	1·09
559·5—553·5	1·42	564 —559·5	1·42	572 —564	1·11
553·5—548·5	1·60	559·5—553·5	1·60	564 —559·5	1·08
548·5—543	1·82	553·5—548·5	1·82	559·5—553·5	1·21
543 —539	2·56	548·5—541	2·12	553·5—548·5	1·27
Sehr schwaches Ergrünen nach 144 St.		Kein deutl. Ergrünen nach 144 Stunden.		Kein Ergrünen nach 144 Stunden.	
Kurve 56.		Kurve 57.		Kurve 58.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Cucurbita bei $^1/_2$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle								
1 *m*			2 *m*			3 *m*		
704 —697 μμ	0·25		704 —697 μμ	0·31		697 —690 μμ	0·12	
697 —690	0·31		697 —690	0·32		690 —684	0·48	
690 —684	0·66		690 —684	0·34		684 —678	0·83	
684 —678	1·55		684 —678	0·59		678 —673	1·14	
678 —637	∞		678 —673	1·70		673 —667	1·09	
637 —633	1·60		673 —667	1·89		667 —663	0·77	
633 —630	1·50		667 —663	1·60		663 —658	0·57	
630 —627	1·46		663 —658	1·51		658 —653	0·36	
627 —613	1·42		658 —653	1·09		653 —643	0·37	
613 —610	1·51		653 —648	1·03		643 —639	0·41	
610 —606	1·60		648 —643	0·98		639 —633	0·57	
606 —602	1·70		643 —639	0·88		633 —630	0·59	
602 —598	1·65		639 —633	0·98		630 —627	0·55	
598 —595	1·60		633 —630	1·00		627 —622·5	0·48	
595 —591·5	1·55		630 —613	0·88		622·5—617·5	0·44	
591·5—589	1·42		613 —610	0·93		617·5—613	0·46	
589 —585·5	1·21		610 —606	0·90		613 —610	0·48	
585·5—583	1·11		606 —602	0·88		610 —606	0·49	
583 —580	1·09		602 —598	0·83		606 —602	0·48	
580 —572	1·11		598 —595	0·81		602 —598	0·44	
572 —569	1·21		595 —591·5	0·70		598 —591·5	0·37	
569 —566·5	1·17		591·5—589	0·66		591·5—589	0·40	
566·5—564	1·09		589 —585·5	0·72		589 —580	0·53	
564 —559	1·11		585·5—572	0·74		580 —577·5	0·64	
559 —553·5	1·21		572 —566·5	0·79		577·5—569	0·66	
553·5—548	1·27		566·5—564	0·88		569 —564	0·68	
548 —543	1·65		564 —559	0·97		564 —559	0·77	
543 —539	1·70		559 —553·5	1·09		559 —553·5	0·88	
539 —534	2·12		553·5—548·5	1·21		553·5—548	1·00	
534 —529·5	2·72		548·5—543	1·27		548 —543	1·11	
			543 —539	1·46		543 —539	1·24	
			539 —534	1·55		539 —534	1·31	
			534 —529·5	1·65		534 —529·5	1·42	
						529·5—525·5	1·51	
						525·5—521	1·96	
Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.			Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.			Sehr schwaches Ergrünen nach 144 St.		
Kurve 59.			Kurve 60.			Kurve 61.		

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle					
4 *m*		5 *m*		6 *m*	
697 —690 μμ	0·18	697 —690 μμ	0·18	697 —690 μμ	0·24
690 —684	0·25	690 —684	0·26	690 —684	0·34
684 —678	0·35	684 —678	0·28	684 —678	0·46
678 —673	0·66	678 —673	0·41	678 —667	0·62
673 —667	0·70	673 —667	0·48	667 —663	0·51
667 —663	0·68	667 —663	0·44	663 —653	0·48
663 —658	0·51	663 —658	0·21	653 —648	0·37
658 —653	0·41	658 —653	0·25	648 —639	0·41
653 —648	0·34	653 —648	0·21	639 —633	0·48
648 —639	0·37	648 —643	0·28	633 —630	0·66
639 —633	0·41	643 —639	0·31	630 —627	0·62
633 —630	0·62	639 —633	0·37	627 —622·5	0·51
630 —627	0·51	633 —630	0·48	622·5—617·5	0·48
627 —622·5	0·44	630 —622·5	0·34	617·5—610	0·31
622·5—617·5	0·46	622·5—617·5	0·15	610 —602	0·34
617·5— 613	0·37	617·5—613	0·18	602 —598	0·41
613 —602	0·49	613 —610	0·23	598 —595	0·44
602 —598	0·55	610 —606	0·28	595 —591·5	0·48
598 —591·5	0·51	606 —602	0·31	591·5—589	0·49
591·5—583	0·55	602 —589	0·34	589 —583	0·62
583 —580	0·59	589 —583	0·41	583 —580	0·66
580 —574·5	0·64	583 —580	0·44	580 —577·5	0·68
574·5—564	0·66	580 —577·5	0·55	577·5—574·5	0·70
564 —559	0·79	577·5—574·5	0·62	574·5—569	0·74
559 —553·5	0·93	577·5—564	0·66	569 —564	0·77
553·5—548·5	0·98	564 —559	0·74	564 —559	0·81
548·5—543	1·00	559 —553·5	0·83	559 —553	0·88
543 —539	1·14	553·5—548	0·88	553 —548	0·93
539 —534	1·21	548 —543	0·98	548 —543	0·98
534 —529·5	1·27	543 —539	1·14		
529·5—521	1·55	539 —534	1·34		
521 —516	1·70	534 —529	1·46		
		529 —525·5	1·51		
Kein Ergrünen nach 144 Stunden.					
Kurve 62.		Kurve 63.		Kurve 64.	

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Phaseolus bei $^1/_2$-Normalkerze.

Entfernung von der Lichtquelle

1 *m*		2 *m*		3 *m*	
690 —684 μμ	0·48	690 —684 μμ	0·25	690 —684 μμ	0·06
684 —678	0·81	684 —678	0·29	684 —678	0·34
678 —653	∞	678 —673	0·34	678 —673	0·59
653 —648	2·56	673 —667	0·55	673 —667	0·53
648 —643	1·34	667 —658	0·88	667 —663	0·34
643 —639	1·14	658 —653	0·98	663 —658	0·24
639 —630	1·11	653 —648	0·74	658 —648	0·23
630 —622·5	1·27	648 —643	0·51	648 —643	0·21
622·5—613	1·24	643 —639	0·48	643 —639	0·34
613 —606	1·21	639 —633	0·54	639 —633	0·36
606 —602	1·17	633 —630	0·66	633 —630	0·37
602 —598	1·14	630 —627	0·59	630 —627	0·21
598 —595	0·95	627 —617·5	0·55	627 —622·5	0·25
595 —589	0·98	617·5—613	0·41	622·5—617·5	0·28
589 —577·5	0·93	613 —610	0·37	617·5—610	0·29
577·5—569	0·98	610 —606	0·51	610 —602	0·31
569 —566·5	1·03	606 —598	0·49	602 —595	0·34
566·5—551	0·97	598 —589	0·37	595 —585	0·37
551 —548·5	1·00	589 —585·5	0·41	585 —580	0·48
548·5—546	1·17	585·5—577·5	0·48	580 —574·5	0·49
546 —543	1·27	577·5—574·5	0·55	574·5—569	0·55
543 —541	1·34	574·5—572	0·62	569 —564	0·60
541 —536	1·34	572 —569	0·68	564 —559·5	0·64
536 —534	1·42	569 —565·5	0·59	559·5—553·5	0·66
534 —529·5	1·82	565·5—564	0·55	553·5—547	0·70
529·5—527	4·11	564 —561	0·51	547 —539	0·79
		561 —559	0·60	539 —534	0·83
		559 —556	0·77	534 —529·5	0·88
		556 —541	0·79	529·5—525·5	0·90
		541 —539	0·91	525·5—521	1·09
		539 —534	1·09	521 —516·5	1·21
		534 —529·5	1·14	516·5—512	1·40
		529·5—525·5	1·17		
		525·5—521·5	1·31		
		521·5—516·5	1·42		
		516·5—512	1·74		

Deutliches Ergrünen nach 144 Stunden.

Kurve 65.

Schwaches Ergrünen nach 144 Stunden.

Kurve 66.

Kein Ergrünen nach 144 Stunden.

Kurve 67.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Entfernung von der Lichtquelle

4 *m*		5 *m*		6 *m*	
684 —678 μμ	0·15	697 —690 μμ	0·25	690 —684 μμ	0·12
678 —673	0·17	690 —684	0·21	684 —678	0·21
673 —663	0·34	684 —678	0·25	678 —673	0·21
663 —658	0·33	678 —673	0·28	673 —667	0·25
658 —653	0·31	673 —667	0·34	667 —658	0·21
653 —648	0·36	667 —663	0·25	658 —653	0·28
648 —643	0·39	663 —658	0·23	653 —648	0·34
643 —639	0·41	658 —653	0·25	648 —643	0·37
639 —633	0·43	653 —648	0·28	643 —639	0·41
633 —630	0·48	648 —643	0·31	639 —633	0·48
630 —627	0·44	643 —639	0·37	633 —630	0·51
627 —617·5	0·39	639 —633	0·39	630 —627	0·53
617·5—613	0·34	633 —630	0·59	627 —622·5	0·59
613 —610	0·31	630 —627	0·57	622·5—617·5	0·49
610 —606	0·34	627 —622·5	0·49	617·5—613	0·48
606 —602	0·33	622·5—617·5	0·44	613 —606	0·44
602 —595	0·34	617·5—613	0·41	606 —602	0·31
595 —589	0·34	613 —610	0·34	602 —598	0·34
589 —572	0·37	610 —606	0·37	598 —595	0·46
572 —569	0·43	606 —598	0·44	595 —583	0·51
569 —566·5	0·44	598 —595	0·46	583 —580	0·55
566·5—559·5	0·48	595 —591·5	0·44	580 —577·5	0·59
559·5—553·5	0·51	591·5—589	0·41	577·5—574·5	0·62
553·5—548·5	0·59	589 —585·5	0·51	574·5—572	0·64
548·5—539	0·66	585·5—583	0·55	572 —569	0·66
539 —534	0·74	583 —577·5	0·64	569 —564	0·68
534 —529·5	0·88	577·5—569	0·66	564 —556	0·72
529·5—525·5	0·90	569 —559·5	0·74	556 —548·5	0·74
525·5—521	0·98	559·5—553·5	0·83	548·5—541	0·79
521 —516·5	1·03	553·5—548·5	0·85	541 —534	0·83
		548·5—543	0·88	534 —527·5	0·88
		543 —539	0·90	527·5—521	0·93
		539 —534	0·98	521 —514·5	1·09
		534 —525·5	1·14		
		525·5—516·5	1·21		
		516·5—512	1·35		

Kurve 68.

Kurve 69.

Kurve 70.
(Mißlungen.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ergebnisse der Untersuchungen.

Es soll nun nochmals die Aufgabe und der Gang der angestellten Versuche kurz skizziert werden. Es handelte sich darum, den Ergrünungsprozeß und dessen Stetigkeit durch einzelne Stadien desselben vor Augen zu führen, zu zeigen, wie der Zustand des jeweiligen Farbstoffmoleküls in diesen Stadien durch das Spektrum sich manifestiert. Hiezu war vor allem die richtige Wahl der Lichtintensität erforderlich ($^1/_2$-, $^1/_4$-, $^1/_8$-Normalkerze), zweitens eine bei sämtlichen Versuchen gleichbleibende Zeitdauer der Belichtung (144 Stunden), während welcher die Pflanzen im ganzen und großen normal fortwuchsen und keine besonders auffallenden heliotropischen Krümmungen zeigten. Hiedurch war auch das sonstige Experimentieren unter stets vergleichbaren Zuständen bedingt, so z. B. bezüglich des Quantums der zu untersuchenden Blattmengen (4 *g*) oder bezüglich des Volums von 96% Alkohol, in welchem die Blätter zerdrückt wurden (14 cm^3) u. a. Daß bei den spektrophotometrischen Untersuchungen stets die nämliche Schichtendicke (270 *cm*) verwendet werden mußte, ist ebenfalls selbstverständlich. Die Betrachtungen über die Fluoreszenz und deren Deutung kommen erst in zweiter Linie in Betracht.

Wenn nun im folgenden die hauptsächlichsten Resultate der Untersuchungen angegeben werden sollen, so seien die Definitionen der in Rede stehenden Farbstoffe nochmals vorangestellt:

α. Etiolin (im Sinne Pringsheim's genommen, *also kein Carotin*) ist jener grüne Farbstoff,[1] welcher aus unbelichteten Keimlingen gewonnen, in konzentrierter Lösung respektive bei beträchtlicher Schichtendicke in Alkohol die Hauptabsorptionen $\lambda = 640-620\ \mu\mu$ hervorbringt.[2] Dieser grüne Farbstoff wird

[1] Wiesner identifiziert, wie aus dessen zitierter Abhandlung über die Entstehung des Chlorophylls hervorgeht, Etiolin mit Xanthophyll und Autumnophyll. Diese Arten von gelben Pflanzenfarbstoffen sind entschieden Carotine oder Carotinine.

[2] Nebenabsorptionen (siehe p. 127) kamen nicht weiter in Betracht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

jedoch durch das stets überwiegende Carotin vollständig verdeckt.

β. »Stationäres Chlorophyll« bedeutet im Gegensatze zu Etiolin jenen grünen Farbstoff, welcher während des Ergrünungsprozesses neben dem Etiolin erscheint und zwar nach der im früheren Texte beschriebenen Weise. Diese Chlorophyllmodifikation[1] allein erweist sich im Lichte als beständig und ist also gleichbedeutend mit dem reinen Chlorophyll in der Pflanze.

γ. Von den verschiedenen Ionengruppen im jeweiligen Farbstoffmoleküle kommen im folgenden zwei ganz besonders in Betracht und zwar jene, welche zwischen $\lambda = 680—640\ \mu\mu$ schwingt (also dem stationären Chlorophyll angehörend), welche mit »Gruppe γ« bezeichnet werden soll; zweitens jene, welche zwischen $\lambda = 640—620\ \mu\mu$ oszilliert (dem Etiolin angehörend), welche wir »Gruppe *g*« nennen wollen.

Die Ergebnisse sind folgende:

1. Sowohl in gymnospermen als auch in angiospermen Pflanzen findet sich Chlorophyll vor bei Keimlingen, welche in strengster Dunkelheit aufgezogen werden. Während jedoch bei den ersteren nachweislich nur stationäres Chlorophyll auftritt, so findet sich bei den letzteren jene Chlorophyllmodifikation vor, welche die Pflanze zur Bildung von stationärem Chlorophyll disponiert, ein Farbstoff, welcher gewöhnlich mit dem Terminus »Pringsheim'sches Etiolin« bezeichnet wird. Dieses Etiolin besitzt, wie das eigentliche Chlorophyll, eine grüne Farbe, dispergiert anomal und fluoresziert in alkoholischer Lösung (zeigt Fluoreszenz I. Art nach Lommel).

2. Dieses Etiolin entsteht und verschwindet wieder in den Dunkelkeimlingen. Der gelbe Farbstoff beim Etiolement rührt vom Überwiegen des Carotins und anderer mit Carotin verwandter gelber Farbstoffe her. Ob die etiolinhältige Pflanze auch assimilieren kann, konnte des äußerst geringen Quantums des genannten Farbstoffes wegen nicht nachgewiesen werden.

---

[1] »Etiolin« ist ebenfalls als eine solche zu betrachten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

3. Das Gelbwerden der Blätter im Herbste beruht ebenfalls auf dem Überwiegen gelber Farbstoffe, niemals findet sich auch nur eine Spur von Etiolin in solchen Blättern wieder, denn ein umkehrbarerer Prozeß Chlorophyll $\rightleftarrows$ Etiolin ist experimentell nicht nachgewiesen, in der Natur aber entschieden unmöglich.[1]

4. Die erste unter den oben angeführten Verhältnissen wahrnehmbare Wirkung des Lichtes auf eine etiolinhältige Pflanze besteht darin, daß Etiolin in stationäres Chlorophyll sich gleichsam umwandelt, indem sich ein allmählicher Übergang von Eigenschwingungen der Gruppe g in solche der Gruppe γ vollzieht (kf. die Tafeln und Tabellen).

Dieser Übergang erfolgt stetig und zwar derart, daß mit der Abnahme der Schwingungen in der Gruppe g proportional eine Zunahme der Schwingungen in der Gruppe γ sich vollzieht, wie ebenfalls die beigefügten Tafeln zur Genüge dartun.

Während des eigentlichen Ergrünungsprozesses sind also Schwingungen beider Ionengruppen vorhanden, die einen von größeren, die anderen von kleineren Amplituden. Selbstverständlich wird es auch einen Zeitpunkt geben müssen, wo beide Amplituden gleich erscheinen, wo also Etiolin und stationäres Chlorophyll in gleichen Mengen vorhanden sind (kf. Kurve 38 auf Tafel II und Kurve 43 auf Tafel II). Man sieht also stets zwei Absorptionsstreifen nebeneinander[2] im Spektrum der Lösung, den einen heller und schmäler, den anderen breiter und dunkler, je nach Maßgabe des Lichtgenusses, welcher während des Versuches der Pflanze zukam. Nur im Dunkeln geschehen die Schwingungen der Gruppe g um eine stabile Gleichgewichtslage, bei der Belichtung geht dieser Zustand verloren, bis wieder eine stabile Lage in der Gruppe γ erreicht ist.

5. Zeigt sich keine Spur von Eigenschwingungen in der Gruppe g neben denen der Gruppe γ mehr (ist also alles Etiolin

[1] Kf. hierüber Nernst, Theoretische Chemie, 1900, p. 617 ff.

[2] Diese beiden Absorptionsbänder sind durch einen hellen Lichtstreifen getrennt, an dessen Stelle später der Absorptionsstreifen II des stationären Chlorophylls tritt; kf. z. B. Kurve 7 auf Tafel I, Kurve 24 auf Tafel I etc.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

verschwunden), so geht die Bildung von stationärem Chlorophyll bei genügender Beleuchtung sehr rasch vor sich (kf. das rasche Ansteigen der Chlorophyllabsorptionskurven nach dem Verschwinden der Maxima zwischen $\lambda = 640-620\ \mu\mu$ in den Tafeln). Dies hat seinen Grund darin, daß der Widerstand gegen die Schwingungsenergie der Gruppe g vollkommen aufgehoben ist.

So lange Eigenschwingungen beider Ionengruppen nebeneinander bestehen, erscheint beim Ergrünungsprozesse die Gesamtleistung des Lichtes als die zur Lostrennung beider Schwingungskomplexe verwendete Arbeit wieder.[1] Sind aber nur mehr Schwingungen in der Gruppe γ vorhanden (liegt also nur mehr stationäres Chlorophyll vor), so werden dieselben allerdings durch die Einwirkung des Lichtes verstärkt, allein nur so lange, bis die für den »aktiven Teil des Chloroplasten« notwendigen Dispositionen getroffen sind, d. h. bis die Pflanze unter normalen Lebensverhältnissen sich befindet. Dann geht die Neubildung des Chlorophylls nicht bis ins Unendliche fort, sondern stets wird Chlorophyll im Licht auch zerstört, welche beide Prozesse (Neubildung und Zerstörung) sich bis zur herbstlichen Verfärbung das Gleichgewicht halten.

6. Die Entstehung des Chlorophylls gestaltet sich bei verschiedenen angiospermen Pflanzen bezüglich der Zeitdauer gemäß der jeweiligen individuellen Konstitution verschieden. So ergrünen z. B. in der Jugend anthokyanführende Pflanzen sehr schnell. Geringe Intensitäten (weitere Entfernung von der Lichtquelle) bewirken jedoch, daß das Minimum der Chlorophyllbildung bei verschiedenen Pflanzen annähernd dieselbe Grenze erreicht, wie dies bereits Wiesner nachgewiesen hat.

In der Natur geht der geschilderte Prozeß oft mit einem Schlage (jedoch nie etwa unstetig) vor sich, da ja helles diffuses Tageslicht die äußerst geringe Menge von Etiolin bald zu zerstören vermag.

Der Umstand, daß das Ergrünen etiolierter Keimlinge bei sehr hoher Intensität weniger rasch erfolgt als bei schwächerer,

[1] Selbstverständlich finden die Oszillationen der Gruppe g auch im Dunkeln statt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hat seinen Grund darin, daß eine zu starke Oxydation sowohl des Etiolins als auch des Chlorophylls erfolgt, so daß ein normales Ergrünen unmöglich wird.

7. Über das Auftreten und Verschwinden der einzelnen Absorptionsbänder (in 96% alkoholischer Lösung) je nach Maßgabe der Lichtintensitäten, denen die Keimlinge während der Versuche ausgesetzt waren, ist in den Tabellen und Tafeln das Nötige zu ersehen. Es sei jedoch hier darauf aufmerksam gemacht, daß nicht überall dort, wo man auf den ersten Blick ein Maximum der Absorption zu sehen glaubt, ein solches wirklich vorhanden ist, wie dies manchmal bei Beschreibungen von Chlorophyll- und anderen Absorptionen angegeben wird. Die photometrische Messung ergibt bei schwachen Banden meist nur einen Wendepunkt in der Kurve.[1]

Daß auf Absorptionen im stärker brechbaren Dispersionsbereiche nur wenig Rücksicht genommen werden konnte, hängt mit der Versuchsmethode zusammen, denn es konnten nur sehr dicke und konzentrierte Lösungsschichten untersucht werden, bei denen meist nach $\lambda = 530\ \mu\mu$ bereits die Endabsorption auftrat.

8. Das Chlorophyll ist in seiner Entstehung, d. h. so lange Schwingungen der Gruppe g und γ vorhanden sind, ein doppelt fluoreszierender Körper. Die Farbe des gesamten Fluoreszenzlichtes ist dann eine Mischfarbe, welche von Lichtrot bis ins dunkle Karminrot variiert, je nach der Menge des neugebildeten Chlorophylls.

9. Der Umstand, daß die sensibilatorische Wirkung einer Substanz mit der Abnahme der Fluoreszenz wächst, läßt darauf schließen, daß der Chlorophyllfarbstoff in der Tat als Sensibilisator wirkt.[2] Denn es ist bekannt, daß die Fluoreszenz im lebenden Blatte entweder gar nicht oder nur sehr schwer wahrnehmbar ist, obschon zwischen B und C im Spektrum ein bedeutendes Absorptionsmaximum wahrgenommen wird. Zu dieser Sensibilisation wird die Energie der wirkenden Strahlen

[1] Kf. auch Wüllner, Strahlung I.

[2] Kf. Timirjazeff, Compt. rend. 1885, Nr. 12; ferner Reinke, Ber. der deutschen bot. Ges. 1883.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

vollständig ausgenützt, wie dies die erwähnte starke Absorption beweist; zudem besitzt bei jeder photochemischen Aktion der Exstinktionskoeffizient einen weit größeren Wert als bei rein optischer Absorption.[1] Daß jedoch dieser ganze Energieverbrauch im Assimilationsprozesse sich als nutzbare Arbeit wiederfindet, wäre in der Tat eine irrige Behauptung;[2] am allerwenigsten kann eine allgemeine Norm über irgend welche Proportionalität zwischen Absorption und Assimilation aufgestellt werden.[3] Wird nun Chlorophyll in fluoreszierenden Zustand übergeführt, z. B. durch Lösung in fetten oder ätherischen Ölen, Alkohol etc., wobei stets eine Tötung des betreffenden Pflanzenteiles früher erfolgt ist, so findet die frühere rein chemische Aktion ihr Äquivalent in der Fluoreszenz (kf. Reinke, l. c.).[4] Hiebei braucht allerdings nicht angenommen zu werden, daß das Chlorophyll in der lebenden Pflanze sich in fester Phase vorfinde, wenn auch Reinke's geniale Versuche hierüber manches Plausible an sich tragen. Nach Kohl's (l. c.) Bemerkungen müßte im Spektrum des festen Chlorophylls auch der Streifen des festen Carotins, des steten Begleiters des grünen Farbstoffes, sich vorfinden, welcher zwischen $\lambda = 524-468\ \mu\mu$ liegt. Letzteres ist in der Tat nicht der Fall.

Reinke's Ansicht, daß beim Ergrünen eine Zwischensubstanz als Begleiter des Etiolins (in Pringsheim'schem Sinne) die Hauptrolle spiele, auf welche Substanz das Licht direkt wirke (über deren Konstitution man allerdings nichts Sicheres weiß), stimmt mit den Ausführungen Pringsheim's[5] überein,

---

[1] Kf. Winkelmann, 1894, Bd. 2, Handbuch der Physik (aut. Winkelmann).

[2] Tatsächlich wird nur ein kleiner Teil der Energie der Sonnenstrahlen in der Pflanze beim Assimilationsprozesse ausgenützt. Kf. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, I.

[3] Letzteres geschah von Richter: »Étude sur la photosynthese et sur l'absorption par la feuille verte des rayons de différentes longeurs d'onde.« Rev. gén. de bot. 1902.

[4] Kf. auch Winkelmann, Handbuch der Physik, II, 1, p. 483 (aut. Stenger).

[5] Wied. Ann. 32, 384.

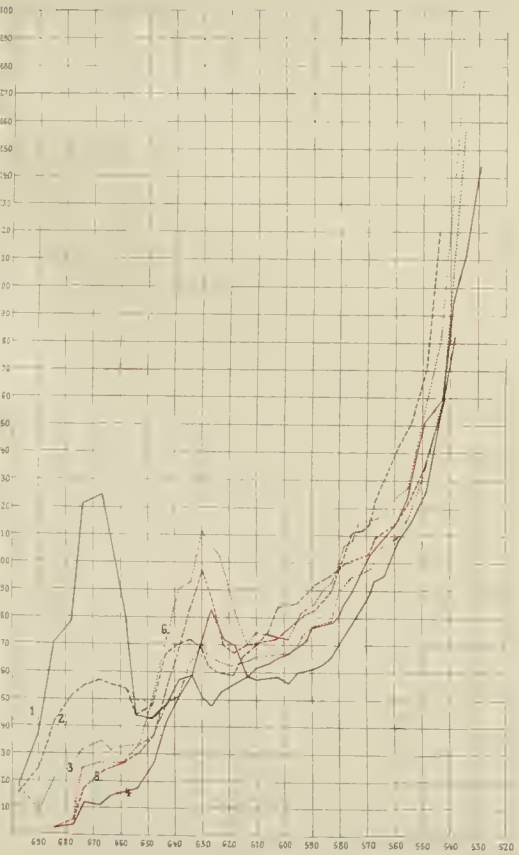
Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

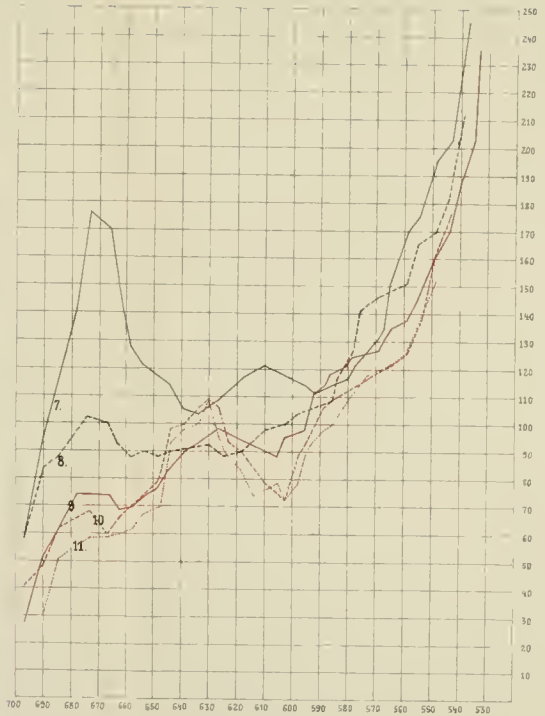
wonach die Erscheinung der photochemischen Induktion stets auf Bildung von Zwischensubstanzen zurückzuführen sei. Sicheres ist hierüber nicht bekannt. Wahrscheinlich ist es das Carotin, welches beim Ergrünungsprozesse sich in hervorragender Weise beteiligt, denn nach Kohl's Versuchen steht es fest, daß die Carotinzunahme beim Ergrünen nur sehr langsam vonstatten gehe, so daß »in den ersten Stadien des Ergrünens nicht viel mehr Carotin vorhanden ist als vor demselben vorhanden war«. Wiesner (l. c.) hat sogar eine Abnahme des Xanthophylls, d. i. des Carotins, beim Ergrünungsprozesse konstatiert.[1]

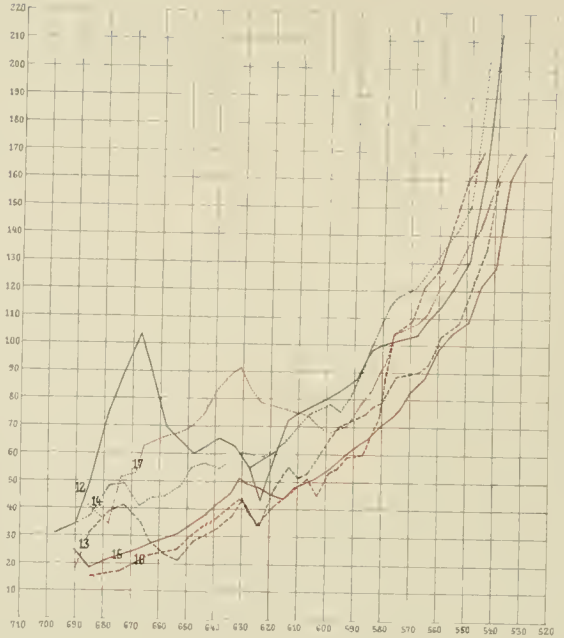
Zum Schlusse fühlt sich der Verfasser verpflichtet, vor allem Herrn Hofrat Dr. J. Wiesner für dessen Anregung zur vorliegenden Arbeit und das Material zur Ausführung derselben im k. k. pflanzenphysiologischen Institute, sowie Herrn Prof. Dr. Franz Exner, Herrn Privatdozenten Dr. A. Lampa für die gütige Überlassung und Einführung in den Gebrauch der Spektralapparate im k. k. physikalischen Institute, sowie Herrn Dr. K. Linsbauer, Assistenten im pflanzenphysiologischen Institute, für dessen stets bereite Einführung in die Literatur und Behandlung des Pflanzenmaterials seinen ergebensten Dank auszusprechen.

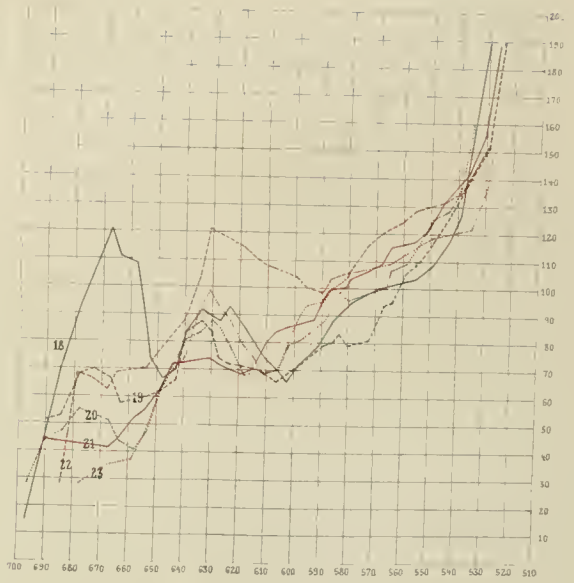
[1] Eine rein theoretische Beschreibung des Ergrünungsprozesses behält sich der Verfasser für später vor.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



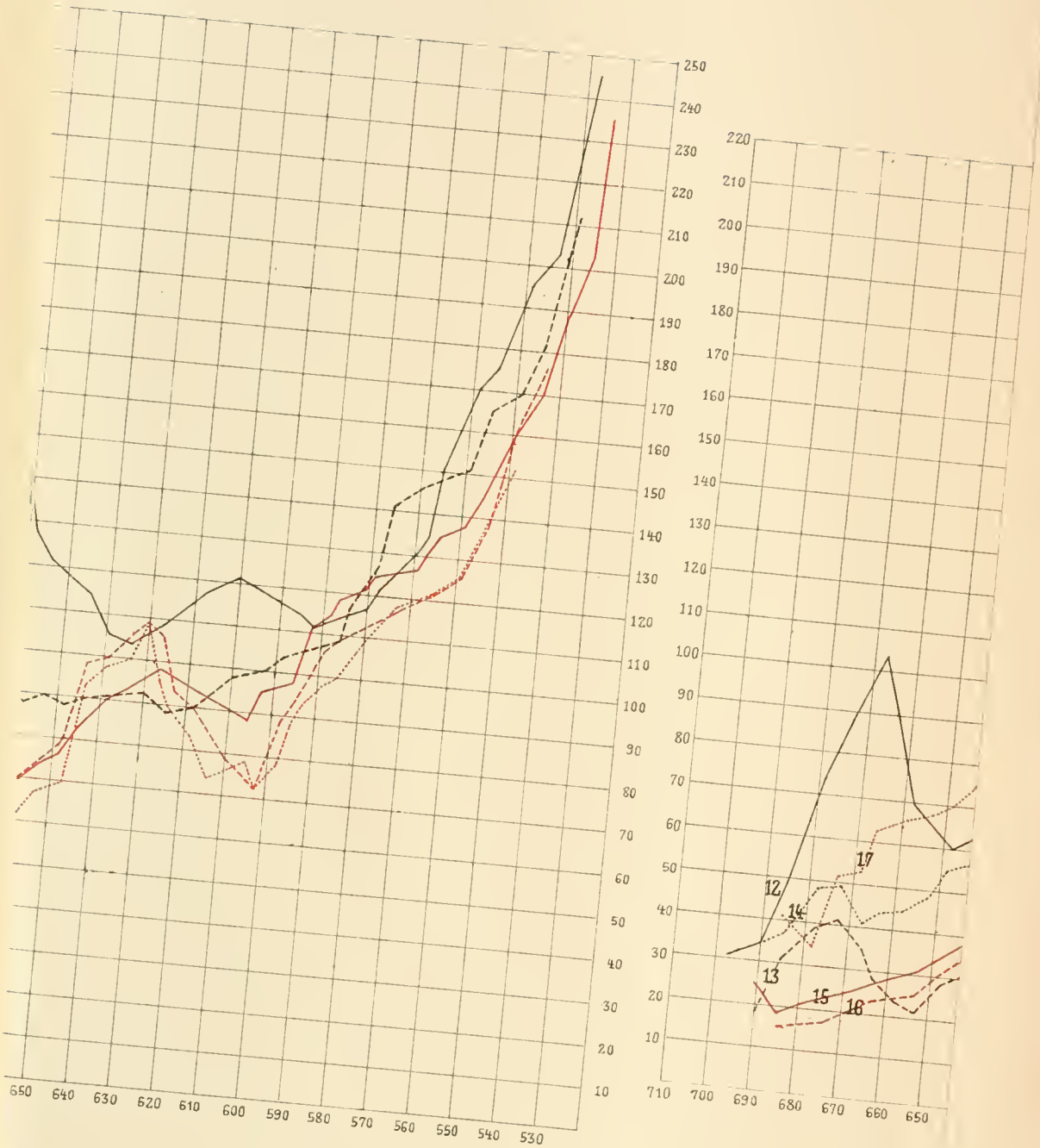




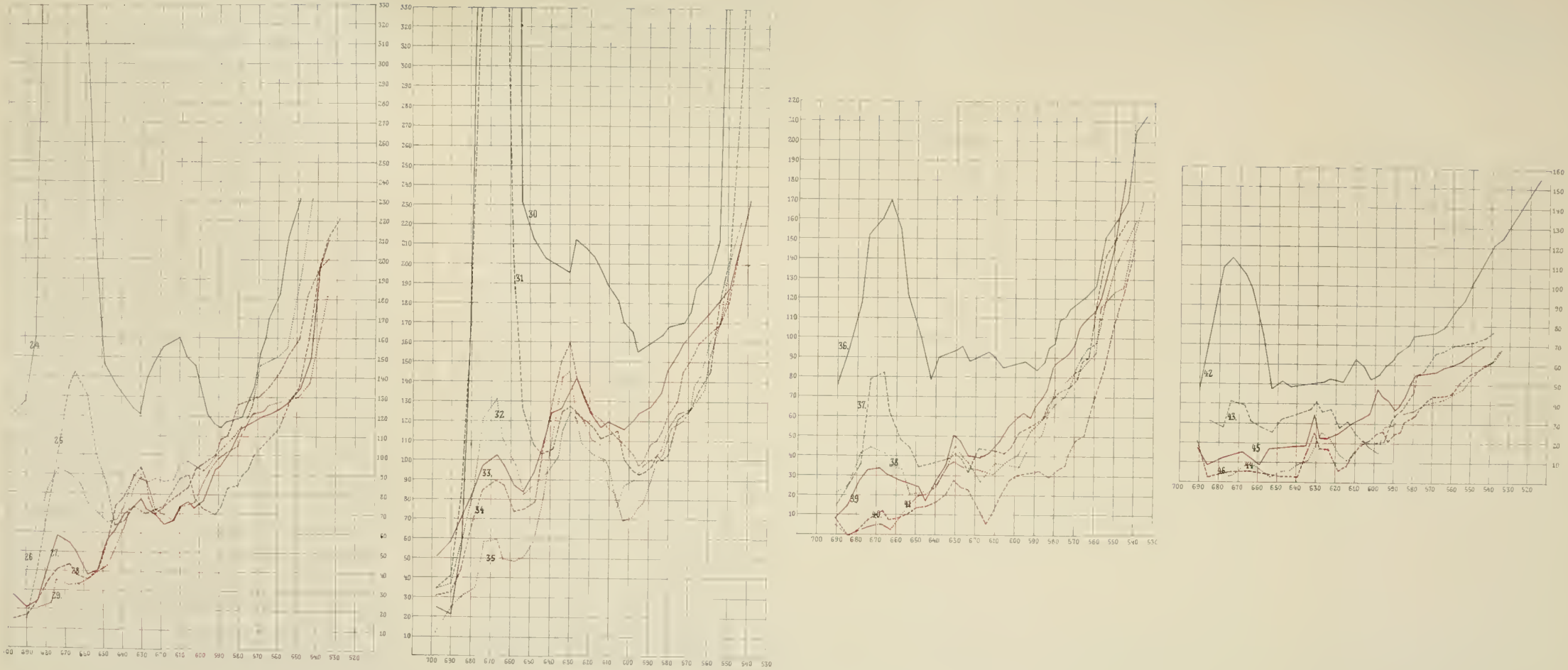


Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

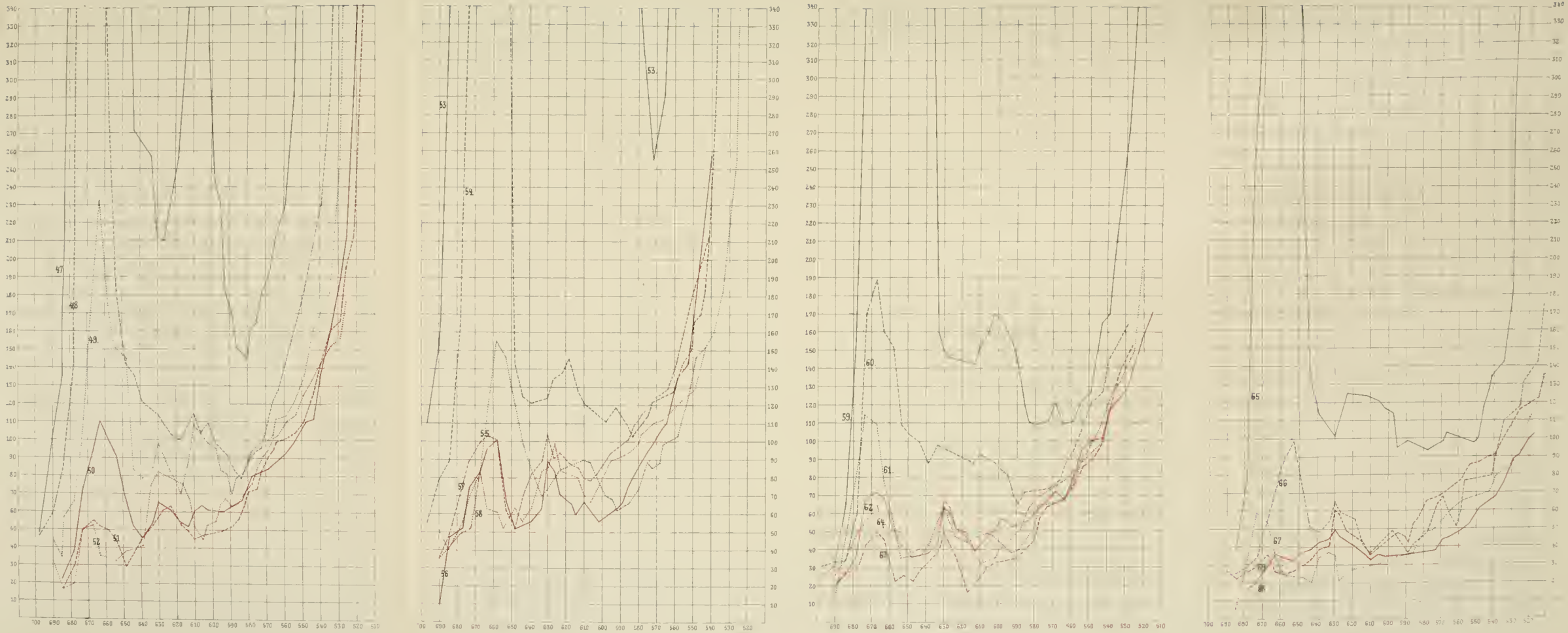
Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum